Dirigé par
Jean-Luc DesGranges

Étude des effets de l'acidification sur la faune aquatique au Canada : les oiseaux lacustres et leurs habitats au Québec

Publication hors série
Numéro 67
Service canadien de la faune

Environnement Canada
Service canadien de la faune

Environment Canada
Canadian Wildlife Service

89-04535//

Dirigé par
Jean-Luc DesGranges*

Étude des effets de l'acidification sur la faune aquatique au Canada : les oiseaux lacustres et leurs habitats au Québec

Publication hors série
Numéro 67
Service canadien de la faune

Also available in English

*SCF (Région du Québec)
1141, route de l'Église
Sainte-Foy (Qué.) G1V 4H5

Publié en vertu de l'autorisation du
Ministre de l'Environnement
Service canadien de la faune

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1989
N° de catalogue : CW69-1/67F
ISBN 0-662-94796-7
ISSN 0576-6370

Conception : Rolf Harder & Assoc.

Données de catalogage avant publication (Canada)

Vedette principale au titre :

Étude des effets de l'acidification sur la faune aquatique au Canada : les oiseaux lacustres et leurs habitats au Québec

(Publication hors série/Service canadien de la faune; n° 67)
Publ. aussi en anglais sous le titre : Studies of the effects of acidification on aquatic wildlife in Canada.
Comprend des références bibliogr.
ISBN 0-662-94796-7
Cat. MAS no CW69-1/67F

1. Oiseaux aquatiques — Québec (Province) — Ecologie. 2. Zones humides — Conservation — Québec (Province). 3. Oiseaux — Protection — Québec (Province). 4. Acidification — Aspect de l'environnement — Québec (Province). 5. Pluies acides — Aspect de l'environnement — Québec (Province). I. DesGranges, Jean-Luc. II. Service canadien de la faune. Région du Québec. III. Titre. IV. Titre : Les oiseaux lacustres et leurs habitats au Québec. V. Collection : Publication hors série (Service canadien de la faune); n° 67.

Table des matières

5	Remerciements
6	**Avant-propos**
7	**Influence de l'acidité et d'autres paramètres environnementaux sur la distribution des oiseaux lacustres au Québec** par J.-L. DesGranges et B. Houde
7	**1. Résumé**
8	**2. Introduction**
9	**3. Secteurs étudiés**
9	3.1. Sélection des lacs
13	3.2. Caractéristiques des milieux étudiés
15	**4. Dénombrement des oiseaux**
16	**5. Résultats**
16	5.1. Hiérarchisation des biotopes et de leur avifaune
20	5.2. Sélection des lacs par les oiseaux aquatiques
25	5.3. Sélection des milieux humides par les oiseaux ripicoles
28	**6. Discussion**
28	6.1. Structure des communautés
28	6.2. Sélection des lacs par les oiseaux aquatiques
29	6.3. Sélection des milieux humides par les oiseaux ripicoles
29	6.4. Conséquences probables des précipitations acides
30	**Annexes**
45	**Phytoécologie de l'habitat des oiseaux lacustres du Québec** par M. Darveau, B. Houde et J.-L. DesGranges
45	**1. Résumé**
45	**2. Introduction**
47	**3. Secteurs étudiés**
47	3.1. Choix des lacs
47	3.2. Description des milieux
49	**4. Méthodes**
49	4.1. Description générale des lacs
49	4.2. Qualité de l'eau
49	4.3. Végétation aquatique
49	4.4. Végétation riveraine
50	4.5. Sols riverains
50	4.6. Traitement des données
50	**5. Résultats**
50	5.1. Caractéristiques générales des lacs
51	5.2. Végétation aquatique
53	5.3. Végétation riveraine
55	**6. Discussion**
55	6.1. Végétation aquatique
55	6.2. Végétation riveraine
58	**Annexes**
67	**Ouvrages cités**
70	**Liste des noms vernaculaires et scientifiques des oiseaux mentionnés dans la présente étude**

Liste des tableaux

13	Moyennes et erreurs-types des principaux paramètres physico-chimiques d'acidification selon les districts naturels
14	Synthèse de la caractérisation des lacs de chacun des districts naturels en fonction de leur acidité
14	Coefficients de corrélation de Spearman pour la comparaison des valeurs des principaux paramètres de la qualité de l'eau et de la morphométrie des lacs étudiés dans le sud et le nord du Québec
17	Présences et abondances relatives des espèces d'oiseaux lacustres rencontrées couramment dans les principaux districts naturels du Québec
18	Caractéristiques de la structure des communautés d'oiseaux lacustres des districts naturels visités
19	Présences et abondances relatives des espèces d'oiseaux lacustres rencontrées couramment autour des lacs acides ou neutres de la forêt laurentienne

19	Caractéristiques de la structure des communautés d'oiseaux lacustres selon l'acidité des lacs de la forêt laurentienne
48	Caractéristiques physiques des districts naturels à l'étude
49	Définition de l'indice de réticulation
52	Groupements taxonomiques de végétation riveraine du Québec méridional
54	Groupements taxonomiques de végétation riveraine du Québec septentrional

Liste des figures

9	Régions géographiques et districts naturels couverts par l'étude
10	Caractéristiques générales des lacs selon les districts naturels
11	Qualité de l'eau des lacs selon les districts naturels
12	Qualité des sols riverains des lacs selon les districts naturels
16	Représentation semi-schématisée montrant le partage des espèces d'oiseaux entre les principaux types de milieux du Québec méridional
16	Représentation semi-schématisée montrant le partage des espèces d'oiseaux entre les principaux types de milieux du Québec septentrional
22	ANAFACOR montrant comment l'acidité, la productivité biologique et le degré de réticulation de la végétation riveraine influent sur la sélection de l'habitat chez les oiseaux aquatiques du Québec méridional
23	Représentation semi-schématisée montrant comment l'acidité, la productivité biologique et le degré de réticulation de la végétation riveraine influent sur la sélection de l'habitat chez les oiseaux aquatiques du Québec méridional
24	ANAFACOR montrant comment l'acidité, la productivité biologique et le degré de réticulation de la végétation riveraine influent sur la sélection de l'habitat chez les oiseaux aquatiques du Québec septentrional
24	Représentation semi-schématisée montrant comment l'acidité, la productivité biologique, la couleur de l'eau et le degré de réticulation de la végétation riveraine influent sur la sélection de l'habitat chez les oiseaux aquatiques du Québec septentrional
26	Représentation semi-schématisée montrant comment la teneur minérale et le niveau d'acidité des sols influent sur la physionomie des habitats riverains et influencent indirectement la sélection de l'habitat chez les oiseaux ripicoles du Québec méridional
27	Représentation semi-schématisée montrant comment la teneur minérale et le niveau d'acidité des sols influent sur la physionomie des habitats riverains et influencent indirectement la sélection de l'habitat chez les oiseaux ripicoles du Québec septentrional
46	Secteurs d'étude
56	Schéma de la distribution de la végétation aquatique selon l'acidité et la teneur en calcium de l'eau
57	Schéma de la distribution de la végétation riveraine selon l'acidité et les teneurs en matière organique, en calcium et en azote

Liste des annexes

30	Méthodes analytiques employées pour l'étude de la qualité de l'eau et des sols riverains des lacs de l'étude
31	Liste des espèces d'oiseaux considérées dans la présente étude
32	Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses fréquentés par les oiseaux aquatiques du sud du Québec
36	Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses fréquentés par les oiseaux aquatiques du nord du Québec
39	Pourcentage des lacs possédant divers types d'herbiers aquatiques ayant été fréquentés par les oiseaux aquatiques du sud et du nord du Québec
40	Nombre d'individus des principales espèces d'oiseaux ripicoles observées dans les unités d'habitats riverains caractérisées du sud du Québec

41	Nombre d'individus des principales espèces d'oiseaux ripicoles observées dans les unités d'habitats riverains caractérisées du nord du Québec
42	Aides à l'interprétation des analyses factorielles des correspondances se rapportant aux oiseaux aquatiques
44	Aides à l'interprétation des analyses factorielles des correspondances se rapportant aux oiseaux ripicoles
58	Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses abritant les groupements de végétation aquatique du Québec méridional
61	Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses abritant les groupements de végétation aquatique du Québec septentrional
63	Pourcentage des places-échantillons de caractéristiques diverses supportant les groupements taxonomiques de végétation riveraine du Québec méridional
64	Pourcentage des places-échantillons de caractéristiques diverses supportant les groupements taxonomiques de végétation riveraine du Québec septentrional
65	Aides à l'interprétation des analyses factorielles des correspondances se rapportant à la végétation aquatique
66	Aides à l'interprétation des analyses factorielles des correspondances se rapportant à la végétation riveraine

Remerciements

En signe de reconnaissance et en guise de remerciements, nous tenons à souligner le travail admirable fourni par tous nos coéquipiers qui sont : Rhéal Anger, technicien principal de l'étude, les ornithologues : Jacques Boisvert, Pierre Brousseau, André Desrochers, Thérèse Dupuis, Gilles Falardeau, Peter Lane, André Nadeau et Yves Turcotte; les limnologistes : Gérard Croteau, Dario Lemelin, Daniel Richard et Aline Sylvestre; et le technicien responsable des analyses des sols, Magella Gauthier, du Centre de foresterie des Laurentides, et le technicien responsable des identifications de plantes, Jean-Louis Lethiecq, du même organisme.

Nous tenons aussi à exprimer notre gratitude à Yves Grimard, Paul Potvin et Jean Rodrigue, limnologistes au Service de la qualité des eaux, ministère de l'Environnement du Québec et à Antonio Gonzalez, chimiste du Centre de foresterie des Laurentides pour leur précieuse collaboration à ce projet.

Nous devons également des remerciements à Suzelle Giroux et Louise Trudel qui ont fait le traitement statistique des données, à Lynne Grégoire qui a effectué la saisie du manuscrit sur traitement de textes de même qu'à Lise Villeneuve et Peter Lane qui ont préparé les figures. Plusieurs personnes dont Brian Collins, Joe Kerekes, Don K. McNicol et Kathy L. Fischer, tous du SCF, ainsi que Pierre Grondin et Michel Melançon ont fourni des commentaires judicieux sur une partie ou l'autre de la version préliminaire de ce texte. Nous remercions également Jean-Dominique Lebreton, du Centre national de la recherche scientifique de France, qui, en tant qu'expert de l'extérieur, a accepté de relire le manuscrit en y apportant des commentaires fort pertinents.

La présente étude a bénéficié d'une aide financière dans le cadre du programme fédéral de recherche sur le transport à grande distance des polluants atmosphériques (TGDPA).

Avant-propos

Le présent rapport contient les résultats de recherches effectuées dans le cadre du programme fédéral sur le TGDPA (transport à grande distance des polluants atmosphériques), auquel participent les ministères suivants : Agriculture Canada, Pêches et Océans Canada, Énergie, Mines et Ressources Canada, Santé et Bien-être social Canada, et Environnement Canada. Au sein d'Environnement Canada même, divers aspects du problème sont étudiés par la Direction générale des eaux intérieures, le Service de l'environnement atmosphérique et le Service canadien de la faune, y compris par la Direction des terres qui en fait désormais partie.

Les recherches du SCF, amorcées en 1980, visaient à évaluer l'impact des dépôts acides sur la faune et ses habitats dans l'est du Canada. Les résultats de la première phase de ce programme de recherche sont exposés dans le présent document et dans d'autres publications hors série à paraître ultérieurement.

Un des grands objectifs des travaux du SCF consistait à comparer, dans des habitats vulnérables situés en tête de bassin et subissant différentes charges acides, des données sur l'écologie de reproduction et d'alimentation des oiseaux. Le premier document porte sur la sauvagine et ses chaînes trophiques en Ontario, et le second fait état d'inventaires de communautés aviennes d'eau douce au Québec, ainsi que d'études phytoécologiques sur l'acidification de leurs habitats.

Parmi les autres grands domaines d'étude, mentionnons l'influence du dépôt atmosphérique et de l'acidification à grande distance sur l'ingestion de métaux par les organismes-proies et la toxicité pour les oiseaux aquatiques de l'exposition aux métaux en faibles concentrations. Les retombées atmosphériques peuvent modifier les quantités de métaux lourds assimilables dans le milieu récepteur, soit par un apport direct de ces métaux ou, sous l'effet de l'accroissement de l'acidité, par mobilisation des métaux présents dans les sols et les sédiments. Une autre publication hors série présentera les résultats préliminaires de recherches effectuées au Centre national de recherche sur la faune concernant le devenir des métaux lourds dans les chaînes trophiques de la sauvagine, ainsi que d'études menées en laboratoire, en conditions contrôlées, sur les effets de l'ingestion de métaux lourds sur la reproductivité des oiseaux.

L'ensemble de ces documents offrira un tableau général de la première phase du programme de recherche du SCF concernant le TGDPA. Cette première phase avait pour objectif de déterminer les espèces et les habitats les plus vulnérables à l'acidification. Quant aux études actuellement en cours, elles visent : à préciser la relation de causalité entre l'acidification et les changements biologiques, principalement chez les communautés aviennes; à jeter les bases d'un programme de bio-monitorage pour suivre les changements qui devraient accompagner la réduction de la charge maximale admissible (en 1994, 50 % des quantités de 1980); à évaluer à quel point ce dernier objectif assure la protection des biotes aquatiques.

Les études interdisciplinaires en bassins jaugés occupent une place importante dans le programme de recherche sur le TGDPA. Le SCF joue un rôle de premier plan dans l'étude du bassin jaugé de Kejimkujik en menant des études dans le Canada atlantique sur les rejets de substances nutritives dans les eaux acidifiées du bassin de Kejimkujik et sur les caractéristiques limnologiques de ces eaux.

On peut trouver le résultat de ces études et d'autres études du SCF sur l'acidification dans le *Rapport final du Groupe de travail 1 sur l'évaluation des impacts du Mémorandum déclaratif d'intention entre les États-Unis et le Canada* (1983); dans les actes (en deux volumes) du Symposium international sur les précipitations acides tenu à Muskoka (Ontario) en 1985, colligés par H. Martin et formant le volume 30 de *Water, Air and Soil Pollution* (1986); et dans les actes de l'Atelier international sur l'étude des oiseaux comme bioindicateurs, tenu à Kingston (Ontario) en 1986, publiés dans *The value of birds* par A.W. Diamond et F.L. Filion dans la série des publications techniques du Conseil international pour la préservation des oiseaux (Cambridge, R.-U., 1987).

D.B. Peakall
Conseiller scientifique, Programme TGDPA
Service canadien de la faune

A.W. Diamond
Coordonnateur, Programme TGDPA
Service canadien de la faune

Influence de l'acidité et d'autres paramètres environnementaux sur la distribution des oiseaux lacustres au Québec

par Jean-Luc DesGranges et Benoît Houde[1]

SCF, Sainte-Foy (Qué.)
G1V 4H5

1. Résumé

La présente étude examine les conséquences que pourraient avoir les précipitations acides sur les oiseaux lacustres du Québec. Nous avons déterminé la composition des communautés d'oiseaux qui vivent à proximité des lacs dans des régions de niveaux de déposition et de sensibilité variables. Ceci nous a permis d'évaluer la sensibilité à l'acidité pour un bon nombre d'espèces qui fréquentent les milieux humides du Bouclier canadien et nous a aidés à identifier les espèces qui pourraient être touchées par l'acidification de leur habitat de nidification.

Au total 146 lacs, situés dans les principaux biomes du Québec, ont été visités plusieurs fois afin de dénombrer les oiseaux et de caractériser la morphométrie, la qualité de l'eau, plusieurs composantes biologiques, la nature des sols riverains ainsi que la végétation aquatique et ripicole. Nous sommes donc en mesure d'évaluer l'importance relative de chacune de ces caractéristiques environnementales dans la sélection des habitats humides par les oiseaux lacustres.

Les lacs situés dans les Laurentides hébergeaient en moyenne une douzaine d'espèces lacustres, qu'ils soient acides (pH entre 4,4 et 5,5) ou non. L'avifaune des lacs très acides (pH < 4, d'origine géologique) de la taïga comprenait quant à elle la moitié des espèces qui fréquentent les lacs neutres ou alcalins du secteur. Ce sont principalement des espèces aquatiques qui manquent au pool d'espèces des lacs acides. Alors qu'une dizaine d'espèces d'oiseaux aquatiques se rencontrent couramment sur les lacs non acides de la taïga, on n'a observé que deux espèces de sauvagine (soit la Bernache du Canada *Branta canadensis* et le Bec-scie à poitrine rousse *Mergus serrator*) et exceptionnellement des limicoles sur les lacs acides.

L'analyse factorielle des correspondances (ANAFACOR) nous a permis d'étudier simultanément l'effet des principales caractéristiques morphologiques, physico-chimiques et biologiques des lacs afin d'évaluer l'importance relative de chacune de ces caractéristiques environnementales dans la sélection des lacs par les oiseaux aquatiques. Il ressort de ces analyses que le niveau de production (tel qu'estimé par la concentration en chlorophylle «a») des lacs ainsi que le degré de réticulation, (i.e. l'importance des interfaces entre la végétation riveraine et l'eau; *sensu* Darveau *et al.*, présente publication) de la bande de végétation riveraine sont les deux facteurs qui revêtent le plus d'importance dans le partage des habitats entre les diverses espèces d'oiseaux aquatiques. D'un côté, il y a les espèces qui fréquentent de préférence les lacs productifs, généralement bien entourés de végétation riveraine. Ce sont surtout des échassiers (p.ex. le Butor d'Amérique *Botaurus lentiginosus*) et des canards barboteurs (p.ex. le Canard noir *Anas rubripes*, et la Sarcelle à ailes vertes *A. crecca*). Ce type de lacs est habituellement pourvu d'une importante zone littorale peu profonde qui permet à la lumière d'atteindre le fond du lac à plusieurs endroits. Ceci favorise la croissance des plantes aquatiques et permet le développement d'une abondante faune aquatique, ces lacs ayant en leur faveur un pH généralement proche de la neutralité.

D'autres espèces utilisent habituellement des lacs dont le niveau de production est faible et dont l'eau est souvent acide. C'est le cas notamment de plusieurs espèces de canards plongeurs. Il y a d'une part le Garrot commun (*Bucephala clangula*) et le Bec-scie à poitrine rousse qui se rencontrent principalement sur des lacs dont la végétation riveraine est peu développée et d'autre part le Morillon à collier (*Aythia collaris*) et le Bec-scie couronné (*Lophodytes cucullatus*), qui ont surtout été aperçus sur des lacs présentant une large bande de végétation riveraine bien réticulée. Il arrive souvent que les lacs contiennent peu ou pas de poissons. Aussi, bien que les invertébrés aquatiques soient souvent moins nombreux dans les lacs acides, les canards, n'ayant pas à partager cette nourriture avec un trop grand nombre de poissons, y trouvent suffisamment d'invertébrés aquatiques pour y élever leur nichée. Cette pénurie de poissons dans les lacs acides, bien qu'elle favorise certains canards plongeurs, n'est pas sans nuire aux espèces franchement piscivores. C'est le cas du Huard à collier (*Gavia immer*) qui fréquente presque exclusivement les lacs poissonneux.

La couleur de l'eau est également un facteur important dans le choix d'un lac par les oiseaux aquatiques. Ainsi avons-nous constaté que le Huard à collier, le Bec-scie à poitrine rousse et le Bec-scie couronné fréquentent de préférence les lacs à eaux claires. Ces espèces repèrent la plupart de leurs proies en nageant les yeux ouverts sous l'eau de sorte qu'elles préfèrent sans doute explorer des lacs où la transparence de l'eau est grande, augmentant ainsi leur chance d'apercevoir leur nourriture.

Dans les deux régions de l'étude, les oiseaux ripicoles ont fréquenté en variétés sensiblement égales les habitats caractéristiques des sols plus ou moins minéralisés et plus ou moins acides (i.e. les tourbières, les fondrières, les marais et les boisés ripariens). Bien que nous assistions à un remplacement régulier des espèces en fonction de la structure de la végétation, il ne semble pas y avoir de familles d'oiseaux qui soient mieux représentées sur un type de sol particulier. Les limicoles (Charadriidés et

[1]Adresse actuelle : 1178, des Muguets, Saint-Rédempteur (Qué.) G0S 3B0

Scolopacidés), les moucherolles (Tyrannidés), les fauvettes, les mainates et les pinsons (Embérizidés) constituent les principaux groupes d'oiseaux et on en trouve des représentants dans la plupart des milieux humides indépendamment du degré de minéralisation et d'acidité des sols. L'hétérogénéité des habitats et leur grande productivité en été sont probablement à l'origine de cette cohabitation d'un grand nombre d'espèces et de familles d'oiseaux dans des écosystèmes qui occupent malgré tout, des superficies assez restreintes à l'échelle des lacs comme tels et du continent dans son ensemble.

2. Introduction

La plupart des études traitant des précipitations acides sous l'angle de la biologie se sont appliquées jusqu'à présent à montrer les effets de l'acidification des lacs sur la composition des communautés d'organismes aquatiques (Almer *et al.*, 1978; Haines, 1981; Mémorandum d'intention, 1983). Beaucoup moins nombreuses sont les études qui s'intéressent aux torts que pourraient subir les oiseaux. Cela tient probablement au fait que les oiseaux possèdent des téguments qui les protègent du milieu ambiant et donc des effets directs de l'acidité (Mercer, 1966). Ils ne sont toutefois pas à l'abri des transformations que subissent les écosystèmes. Celles-ci peuvent être considérables. Nous savons que les dépôts acides peuvent réduire la fertilité des sols, qu'ils endommagent la végétation et qu'ils entraînent des diminutions appréciables dans les populations de plusieurs groupes d'invertébrés, de poissons et d'amphibiens. De plus, ils accroissent la solubilité dans les eaux de ruissellement de plusieurs types de métaux toxiques (p.ex. Cadmium, Mercure, Plomb, Sélénium) qui risquent de s'accumuler dans les organismes vivants (Mémorandum d'intention, 1983). C'est donc indirectement que les précipitations acides peuvent toucher les oiseaux. D'une part, la composition floristique des habitats fréquentés par les oiseaux pourrait se modifier au point que certaines espèces ne trouveraient plus la nourriture végétale et le couvert dont elles ont besoin pour nicher (Clark et Fischer, 1981; Haines et Hunter, 1982; Schreiber et Fischer, 1983). D'autre part, les ressources alimentaires des oiseaux sont menacées. Les insectes, les organismes benthiques, les poissons et les amphibiens sont souvent moins nombreux et ne suffisent plus aux besoins alimentaires des oiseaux (Eriksson, 1984; Ormerod *et al.* 1985; DesGranges et Hunter, 1987). L'accumulation de métaux lourds dans la chair de ces proies peut également entraver la reproduction chez certaines espèces d'oiseaux (Nyholm et Myhrberg, 1977; Nyholm, 1981).

Les milieux aquatiques sont davantage sujets à une baisse rapide du pH puisqu'ils constituent en quelque sorte les réservoirs vers lesquels convergent les eaux de ruissellement chargées d'acide. Ces eaux contiennent d'autant plus d'ions hydrogènes qu'elles coulent dans des régions où la roche-mère et les sols sont formés de minéraux pauvres en carbonates qui ne parviennent pas à neutraliser l'acidité de l'eau qui les traverse (Shilts, 1981). La majorité des lacs du Québec se trouvent dans cette situation. Leur capacité tampon est très faible et, dans certains cas, elle est nulle de sorte que le pH d'un grand nombre de lacs baisse rapidement puisqu'ils se trouvent le long des principales trajectoires des averses de neige et de pluie acides (Bobée *et al.*, 1982, 1983; Lachance *et al.* 1985).

Au Québec, il y a plus de cinquante espèces d'oiseaux qui se reproduisent dans les milieux humides du Bouclier canadien. Certaines espèces se nourrissent de poissons, d'amphibiens et d'organismes benthiques qu'elles trouvent dans les lacs. Ce groupe comprend, selon les plus récentes estimations du Service canadien de la faune, quelque 50 000 Huards à collier[1] (DesGranges et Laporte, 1979), près d'un million de Bernaches du Canada et plus de deux millions de canards de différentes espèces (Reed, 1978). À ces millions d'oiseaux, il faut ajouter ceux, encore plus nombreux, qui appartiennent aux espèces qui fréquentent les habitats ripariens. Il y a les échassiers en quête de petits poissons et d'amphibiens dans les mares et les baies peu profondes, les limicoles qui fouillent les vasières et les tourbières à la recherche de petits invertébrés et tout un groupe de passereaux qui nichent à proximité de l'eau et qui s'alimentent d'insectes émergents dont la phase larvaire est aquatique. Les populations de toutes ces espèces pourraient être considérablement réduites par l'acidification de leur milieu.

En l'absence de données physico-chimiques et avifauniques sur l'état antérieur des lacs du Québec, nous ne pouvons pas savoir quels ont été jusqu'ici les effets de l'acidification des lacs sur l'avifaune lacustre. Idéalement, nous devrions faire un suivi environnemental (ou biomonitorage) de plusieurs années (peut-être plus de 25) sur un grand nombre de lacs en voie d'acidification si nous voulons établir de telles relations de cause à effet. Le temps et l'argent n'étant pas disponibles, nous avons opté pour l'approche typologique. En délimitant les groupes d'oiseaux lacustres selon l'acidité des milieux, nous devrions être en mesure de déterminer rapidement quelles sont les espèces les plus sensibles à l'acidité des habitats humides. Ce faisant, nous serons en mesure d'entrevoir les transformations que pourraient subir (les liens causaux n'étant pas démontrés) les communautés d'oiseaux lacustres si l'acidification de leur milieu devait se poursuivre.

Dans le sud du Québec, une région très sujette et très sensible aux précipitations acides, nous avons choisi d'étudier l'avifaune de plusieurs petits lacs peu profonds et bien entourés d'habitats propices aux oiseaux aquatiques (voir DesGranges et Darveau, 1985). L'acidification est habituellement assez rapide dans ces lacs, qui se situent souvent en montagne et à la tête de petits bassins hydrographiques. Les lacs sélectionnés présentent tous un aspect physique semblable, mais ils ont chacun un niveau d'acidité et d'alcalinité particulier. On pourrait donc éventuellement estimer le seuil de tolérance à l'acidité pour la majorité des espèces qui fréquentent les milieux humides.

Nous avons tenu à répéter l'expérience au Nouveau-Québec, une région très sensible mais encore peu sujette aux précipitations acides, car c'est là que nichent la grande majorité des limicoles ainsi que plus de 75 % de la sauvagine du Québec (Reed, 1978). Nous voulons évaluer, avant même que le problème ne prenne de l'importance là-bas, la façon dont les oiseaux lacustres pourraient réagir à une augmentation de l'acidité de leur habitat de nidification.

Nous avons fait plusieurs visites sur chacun de ces lacs, ce qui nous a permis de dénombrer les oiseaux et de caractériser la morphométrie, la qualité de l'eau, plusieurs composantes biologiques, la nature des sols riverains ainsi que la végétation aquatique et riveraine. Nous sommes donc à même d'évaluer dans cet article l'importance relative de chacune de ces caractéristiques environnementales dans la sélection des habitats humides les plus souvent fréquentés par les oiseaux lacustres.

[1]Note du rédacteur : À des fins de concision, les noms scientifiques sont mentionnés en regard de chaque nom vernaculaire, dans la liste alphabétique figurant à la fin du présent ouvrage (voir p. 70).

3. Secteurs étudiés

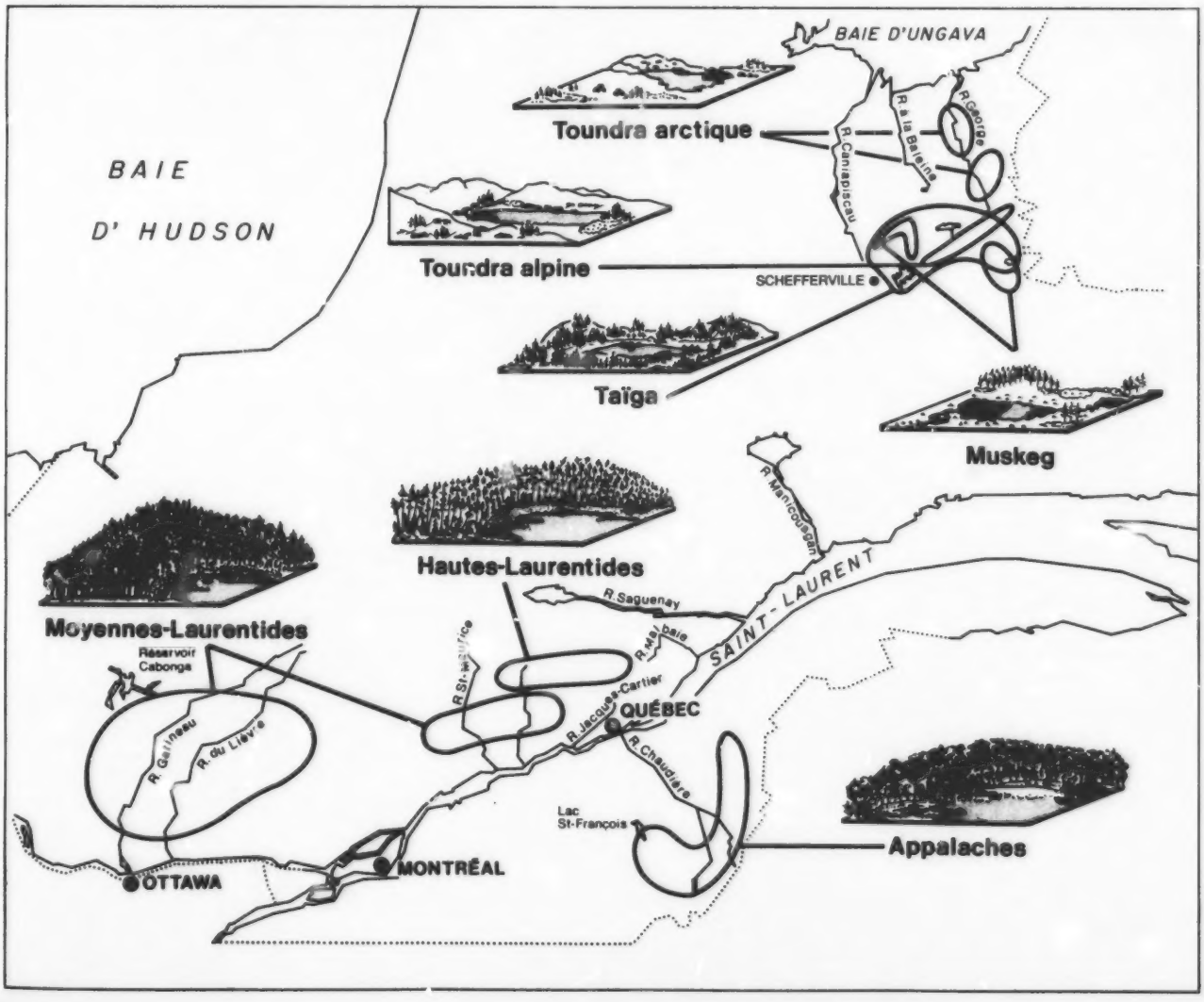
3.1. Sélection des lacs

Les régions géographiques devant faire l'objet de cette étude ont été déterminées à l'aide des connaissances accumulées concernant l'acidité et la sensibilité des lacs du Québec à l'acidification (Shilts, 1981; Gilbert *et al.*, 1985). Nous avons fait le choix de plusieurs lacs du secteur des Laurentides compris entre la Réserve La Vérendrye et la Réserve des Laurentides, car c'est dans cette région que se trouve le plus grand nombre de lacs acides au Québec. Toutefois, il s'y trouve peu de lacs neutres ou alcalins. Aussi, avons-nous sélectionné quelques lacs dans les Appalaches, au sud de la ville de Québec, région où ce type de lacs se rencontre beaucoup plus fréquemment. Au Nouveau-Québec, nous avons opté pour le secteur compris entre la fosse du Labrador à l'ouest et la rivière George à l'est, entre les 55e et 57e parallèles. Cette région, située au nord-est de Schefferville, est partagée en deux par la ligne qui marque la limite des arbres. Elle présente des caractéristiques géologiques et lithologiques très variées, provoquant ainsi une grande diversité des conditions physico-chimiques de ses lacs.

Après avoir déterminé le cadre géographique de l'étude, il nous a fallu sélectionner les lacs à étudier dans chacune des régions. Ce qui nous intéresse, ce sont des lacs sauvages (i.e. peu ou pas fréquentés par les humains), présentant des niveaux d'acidité différents et entourés, le plus possible, d'habitats ripariens propices à la nidification des oiseaux lacustres. Par souci d'uniformité, nous nous sommes limités aux plans d'eau dont la superficie allait de 5 à 35 ha environ.

L'examen des photographies aériennes des régions choisies a permis de localiser tous les lacs sauvages ayant la superficie désirée, de même qu'une bonne frange riveraine. Il s'agissait ensuite de sélectionner, parmi ceux-ci, un certain nombre de lacs à niveau d'acidité différent. Dans le sud du Québec, les lacs les plus intéressants ont été visités en hiver, afin d'y recueillir des échantillons d'eau. Le pH et l'alcalinité de l'eau étant connus, il a été facile de choisir des lacs qui possédaient des caractéristiques physico-chimiques différentes. Pour le nord, nous avons fait le choix des lacs en tenant compte de leur sensibilité à l'acidification, selon les districts écologiques où ils se trouvent (Gilbert *et al.*, 1985). Les lacs retenus sont situés dans des districts écologiques considérés comme étant très ou

Figure 1
Régions géographiques et districts naturels couverts par l'étude



peu sensibles à l'acidification. Une campagne d'échantillonnage, effectuée l'automne précédant le travail sur les oiseaux, nous avait assurés de la variabilité de l'acidité des lacs de cette région et nous avait permis de localiser un secteur où les lacs sont très acides. Nous avons utilisé cette connaissance préalable pour retenir plusieurs lacs dans ce secteur particulier.

Enfin, des critères d'ordre logistique et financier ont aussi été considérés. Dans la mesure du possible, les lacs retenus devaient être groupés et situés à moins de 200 km de la base des opérations, de manière à limiter les déplacements en hélicoptère.

La figure 1 montre les régions du Québec qui ont fait l'objet de ce travail. On pourra consulter Potvin et Grimard (1983) ainsi que Rodrigue et DesGranges (1989) pour connaître la position exacte des 146 lacs à l'étude. Les figures 2, 3 et 4 montrent les caractéristiques générales des lacs et des sols riverains que nous avons étudiés dans chacune des régions. Les méthodes analytiques employées sont présentées à l'annexe 1.

Figure 2
Caractéristiques générales des lacs selon les districts naturels. Pour les variables continues, un diagramme-boîte donne la médiane, les écarts quartiles et les valeurs extrêmes. Pour les variables en classes, un diagramme-bâtonnet donne la répartition des valeurs en pourcentages de l'échantillon; les barres obliques vers la droite signifient la valeur 1 de la variable, les barres verticales, la valeur 2 et les barres obliques à gauche, la valeur 3.

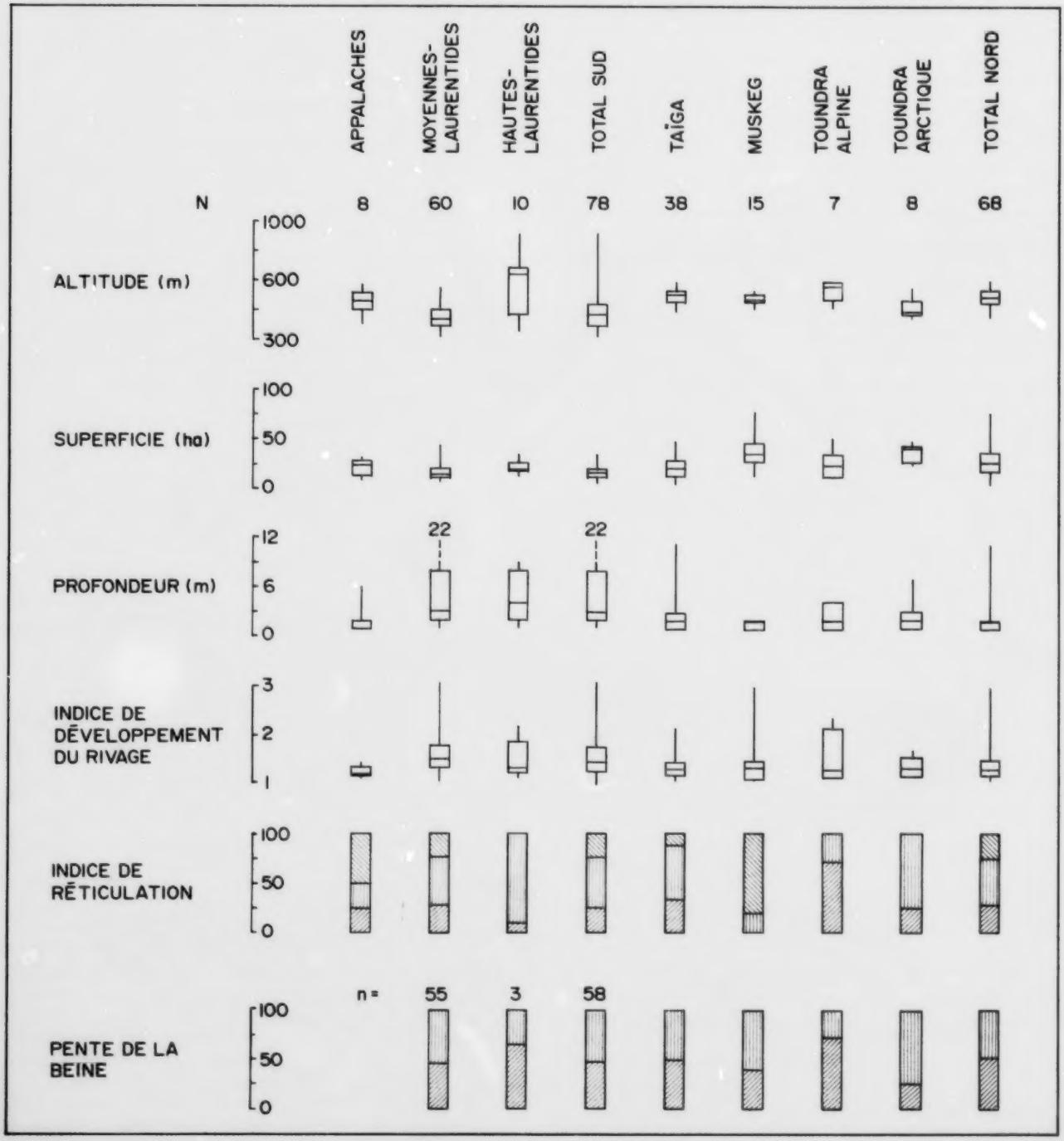


Figure 3
Qualité de l'eau des lacs selon les districts naturels

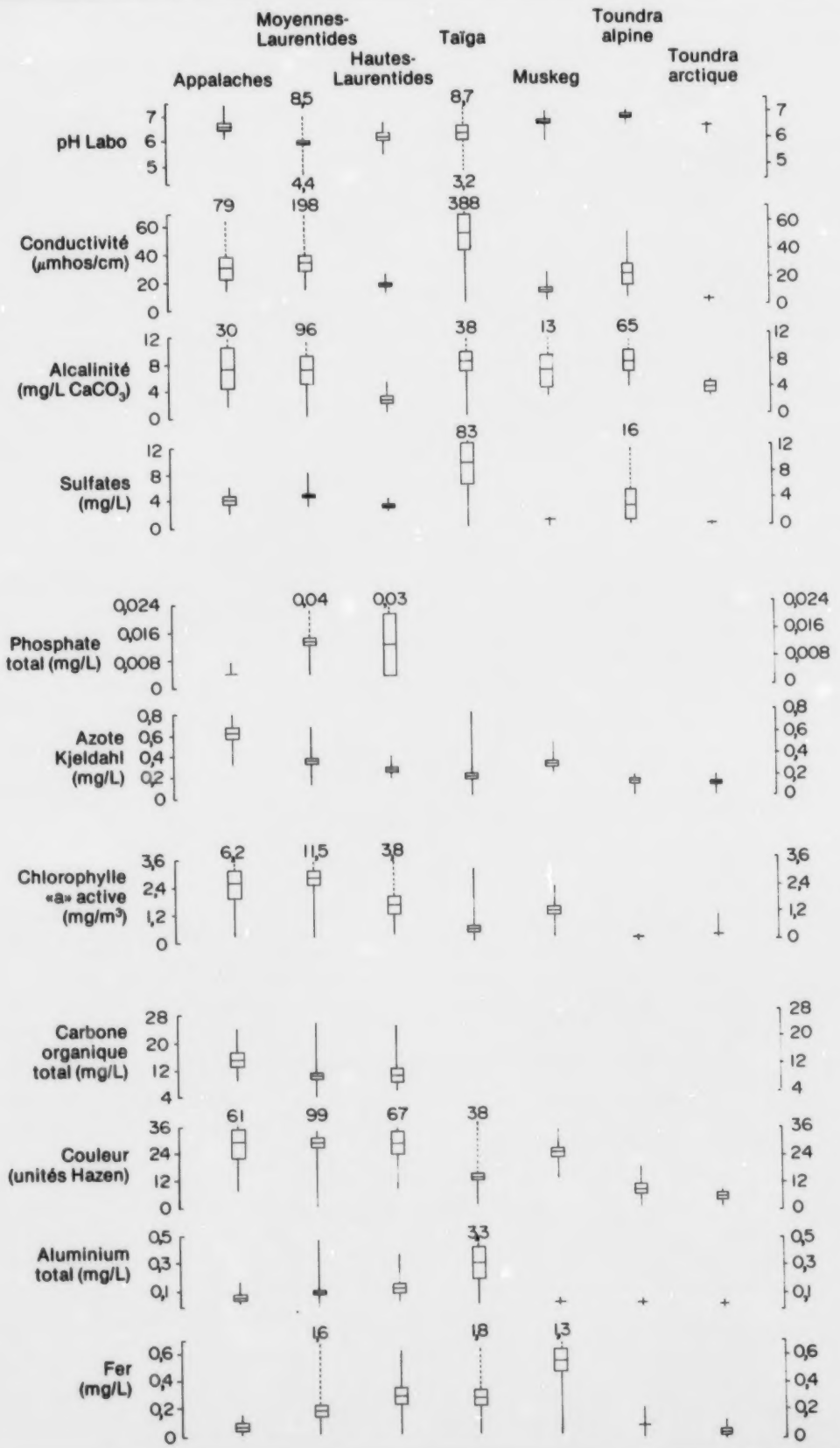
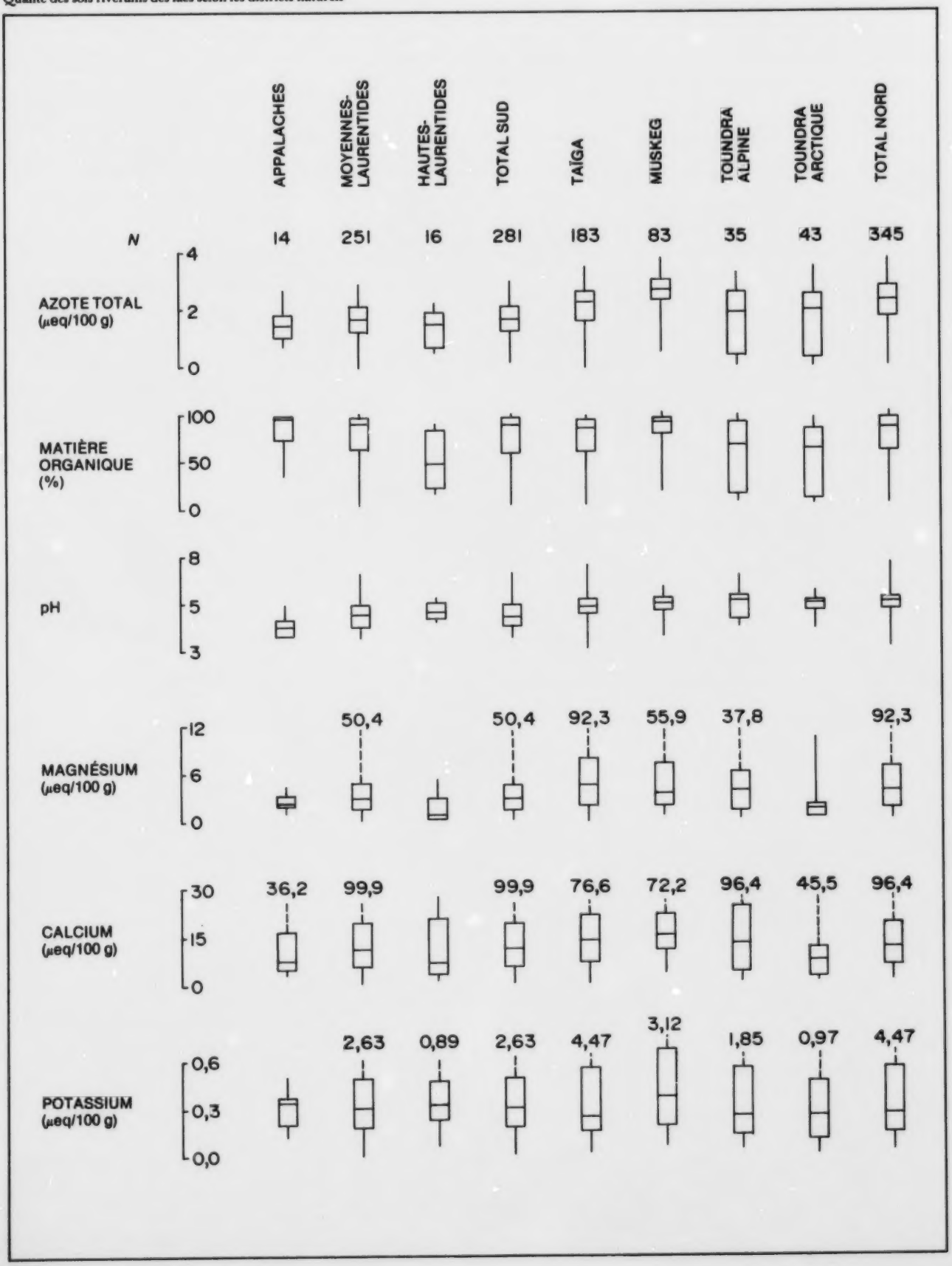


Figure 4
Qualité des sols riverains des lacs selon les districts naturels



3.2. Caractéristiques des milieux étudiés

Nous avons fait plusieurs visites à chacun des lacs dans le but de caractériser le cadre environnemental du lac, la morphométrie, la qualité de l'eau, plusieurs composantes biologiques, la nature des sols riverains ainsi que la végétation aquatique et ripicole. Ces données sont analysées en détail dans d'autres publications (cf. Ouvrages cités) : aussi nous contenterons-nous de présenter ici les principales conclusions de ces recherches.

3.2.1. Districts naturels à l'étude

La notion de district naturel s'inspire des classifications écologiques proposées par Jurdant *et al.* (1977) et Gilbert *et al.* (1985). Selon ces auteurs, nos secteurs d'étude se répartissent dans 11 régions écologiques (région géographique caractérisée par un climat distinctif tel qu'exprimé par la végétation) présentant neuf paysages écologiques (portion de territoire caractérisée par une physiographie et une géologie propres). Nous avons ramené ceci à sept groupes fonctionnels que nous avons nommés districts naturels. Ce sont au sud : les Appalaches, les Moyennes-Laurentides et les Hautes-Laurentides soumises à un climat tempéré-froid, et au nord : la taïga, le muskeg, la toundra alpine et la toundra arctique soumis à un climat toundrique (Darveau *et al.*, présente publication) (figure 1).

Les Appalaches, dans notre secteur d'étude, présentent un relief mouvementé. Les lacs couvrent à peine 3 % du territoire et les tourbières moins de 1 %. Les versants bien drainés des collines sont dominés par la forêt d'érable à sucre (*Acer saccharum*) et de bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*). Le thuya occidental (*Thuja occidentalis*) et le mélèze laricin (*Larix laricina*) colonisent les bas-fonds. Les tourbières sont de petits bogs à éricacées, sphaignes et épinette noire (*Picea mariana*). La végétation lacustre, tapissant environ 20 % du fond de nos lacs, est surtout représentée par des groupements à *Nuphar variegatum* et *Sparganium* sp. de même qu'à *Sparganium fluctuans* et *Potamogeton Oakesianus* (Darveau *et al.*, présente publication).

Les Moyennes-Laurentides sont de hautes terres ondulées dont 10 % de la surface est en lacs et environ 5 % en tourbières. Les forêts des versants sont dominées par l'érable à sucre et le bouleau jaune; l'épinette noire colonise les bas-fonds. Les tourbières se présentent comme de petits bogs uniformes avec quelques fens; elles sont dominées par les carex (*Carex* spp.). La végétation lacustre, couvrant quelque 20 % du fond de nos lacs, présente souvent des groupements à *Nuphar variegatum* et *Sparganium* sp. de même que des mosaïques de peuplements d'*Eleocharis Smallii* et de *Brasenia Schreberi*.

Les Hautes-Laurentides diffèrent des Moyennes-Laurentides par un relief plus accusé, une plus faible occurrence de lacs et tourbières et une végétation plus boréale. Sur les versants, l'érable et le bouleau cèdent la place au sapin baumier (*Abies balsamea*) et à l'épinette blanche (*Picea glauca*). La végétation lacustre correspond plutôt à celle des Appalaches.

Au nord, le relief moutonné ou ondulé, ponctué de hauts-plateaux dans la portion septentrionale de notre aire d'étude, dessine une mosaïque de parcelles de végétation taïgale, à caractère subarctique et de végétation toundrique, à caractère arctique. La taïga correspond à une forêt clairsemée d'épinettes noires sur un tapis de sphaignes ou de lichens. En bordure des lacs, on trouve des carex et du mélèze laricin. Les lacs eux-mêmes abritent peu de végétation (moins de 10 % de recouvrement); les peuplements de *Scorpidium scorpioides*, de *Menyanthes trifoliata* et de *Potamogeton filiformis* y sont les plus fréquents.

Le district des *muskegs* (mot algonquin signifiant : tourbière) correspond aux milieux relativement plats couverts de vastes tourbières palsiques à carex et mélèze laricin et parsemés de lacs. La végétation de ces lacs correspond à celle des lacs de taïga.

Les hauts plateaux et les sommets des collines du domaine de la taïga constituent des enclaves de toundra. Les lichens coiffent le socle rocheux de ces plateaux. Les carex et le bouleau glanduleux (*Betula glandulosa*) colonisent le bord des lacs qui n'abritent pratiquement que des peuplements de *Scorpidium scorpioides*.

Le district de la toundra arctique, plus septentrional que les précédents, correspond à la limite sud du milieu arctique proprement dit. Le paysage se compose d'un tapis lichénique uniforme, nivelé par des arbustes prostrés dans les dépressions et autres secteurs abrités. La végétation du bord des lacs est semblable à celle des lacs de toundra alpine. *Drepanocladus exannulatus* et *Potamogeton filiformis* s'ajoutent dans les lacs de toundra arctique.

3.2.2. Description générale des lacs

3.2.2.1. Qualité de l'eau

La distribution des paramètres physico-chimiques des lacs de l'étude est présentée en fonction des districts naturels au tableau 1. Les caractéristiques limnologiques dominantes des lacs visités dans chacun des districts naturels sont rassemblées pour leur part au tableau 2. Les

Tableau 1
Moyennes et erreurs-types ($\bar{x}$) des principaux paramètres physico-chimiques d'acidification selon les districts naturels[a]

Paramètres physico-chimiques	Districts naturels						
	Appalaches (n = 8)	Moyennes-Laurentides (n = 60)	Hautes-Laurentides (n = 10)	Taïga (n = 38)	Muskeg (n = 15)	Toundra alpine (n = 7)	Toundra arctique (n = 8)
pH (laboratoire)	6,7 ± 0,2	6,0 ± 0,1	6,2 ± 0,1	6,4 ± 0,2	6,7 ± 0,1	6,9 ± 0,1	6,5 ± 0,1
Conductivité (µS/cm)	30,6 ± 7,4	33,8 ± 4,2	18,3 ± 1,6	54,4 ± 13,7	12,4 ± 1,5	23,3 ± 6,3	6,5 ± 0,7
Alcalinité (mg/L $CaCO_3$)	7,6 ± 3,3	7,0 ± 2,1	2,6 ± 0,5	8,1 ± 1,4	6,8 ± 0,7	7,9 ± 1,7	4,0 ± 0,3
Sulfates (mg/L)	4,3 ± 0,5	5,3 ± 0,1	3,3 ± 0,2	9,9 ± 3,2	1,3 ± 0,1	3,3 ± 2,2	0,3 ± 0,1
Phosphore total (mg/L)	0,004 ± 0,001	0,001 ± 0,001	0,012 ± 0,009	—	—	—	—
Azote Kjeldahl (mg/L)	0,63 ± 0,05	0,34 ± 0,02	0,27 ± 0,02	0,19 ± 0,02	0,31 ± 0,02	0,14 ± 0,02	0,12 ± 0,01
Chlorophylle «a» active (mg/L)	2,7 ± 0,7	2,8 ± 0,3	1,6 ± 0,4	0,5 ± 0,1	1,3 ± 0,2	0,1 ± 0,1	0,3 ± 0,1
Carbone organique total (mg/L)	15,4 ± 2,0	10,8 ± 0,5	10,4 ± 1,8	—	—	—	—
Couleur (unités Hazen)	29,4 ± 6,5	29,1 ± 2,6	29,1 ± 5,5	14,5 ± 1,5	25,3 ± 1,8	9,4 ± 2,1	6,0 ± 1,0
Aluminium total (mg/L)	0,07 ± 0,02	0,11 ± 0,01	0,13 ± 0,03	0,31 ± 0,11	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Fer (mg/L)	0,08 ± 0,02	0,19 ± 0,03	0,31 ± 0,06	0,29 ± 0,06	0,57 ± 0,08	0,09 ± 0,03	0,06 ± 0,02

[a] Selon Potvin et Grimard (1984) ainsi que Rodrigue et DesGranges (1989).

relations qui existent entre les paramètres de la qualité de l'eau faisant l'objet d'autres publications, nous nous contenterons de ne reproduire ici qu'une matrice des coefficients de corrélation de Spearman pour la comparaison des valeurs des principales variables étudiées dans les lacs du sud et du nord du Québec (tableau 3).

Les lacs acides (pH ≤ 5,5) étudiés dans le sud de la province sont tous situés dans les Moyennes-Laurentides, particulièrement dans la région de l'Outaouais (Rodrigue et DesGranges, 1989). Les lacs des Appalaches et des Hautes-Laurentides ont pour leur part un pH qui va de 5,6 à 6,5 en été. Les lacs les moins productifs (oligotrophes et oligo-mésotrophes, *sensu* Rodrigue et DesGranges, 1989) se trouvent pour la plupart sur le Bouclier canadien dans la région forestière de Portneuf, au nord-ouest de la ville de Québec. Les lacs des Appalaches sont quant à eux les plus productifs, étant pour la plupart méso-eutrophes.

Dans le nord du Québec, il existe des différences importantes entre chacun des groupes de lacs relativement à plusieurs paramètres physico-chimiques (Potvin et Grimard, 1983). On constate que si les lacs neutres de la toundra arctique et de la toundra alpine sont peu colorés, des différences importantes existent en ce qui concerne la minéralisation et le type de sédiments. Par contre, les lacs neutres du muskeg et de la taïga n'apparaissent pas très différents sur la base de l'ensemble des paramètres, à l'exception du fer dont les concentrations sont plus importantes dans les lacs du muskeg.

D'autre part, si les lacs neutres se rencontrent dans chacun des quatre districts naturels du nord, seule la taïga renferme à la fois des lacs acides et des lacs alcalins pour lesquels des différences importantes ont été notées pour la majorité des paramètres. La principale source d'acidité pour ces lacs extrêmement acides serait la présence de sulfures et principalement de la pyrite dans la roche-mère les entourant. Celle-ci s'oxyde au contact de l'eau et de l'air pour relâcher des ions H^+ dans le milieu.

Tableau 2
Synthèse de la caractérisation des lacs de chacun des districts naturels en fonction de leur acidité[a]

District naturel	Acidité des lacs[b]	Caractéristiques dominantes
Toundra arctique	Neutre	Eau très claire, très peu minéralisée et légèrement acide; milieu grandement sensible à l'acidification; sédiments minéraux.
Toundra alpine	Neutre	Eau claire et beaucoup plus minéralisée que les lacs de toundra arctique; sédiments organiques; milieu sensible à l'acidification.
Muskeg	Neutre	Eau légèrement brunâtre, faiblement minéralisée, présence plus importante de tanins, de lignine et de fer; milieu sensible à l'acidification; sédiments organiques.
Taïga	Acide	Eau très claire; très forte minéralisation; forte acidité imputable à la pyrite de fer sur le bassin; toxicité importante envers la vie aquatique; magnésium en quantité.
	Neutre	Eau légèrement colorée, faiblement minéralisée; concentration d'aluminium plus élevée que dans les autres lacs neutres; présence importante de tanins et de lignine; ressemble beaucoup aux lacs de muskeg.
	Alcalin	Eau claire et passablement minéralisée; beaucoup de magnésium; sédiments organiques; milieu bien tamponné.
Hautes-Laurentides	Neutre	Oligo-mésotrophes et moyennement dystrophes; milieu sensible à l'acidification.
Moyennes-Laurentides	Acide	Mésotrophes et moyennement dystrophes; milieu sensible à l'acidification.
	Neutre	Oligotrophes à mésotrophes; moyennement à fortement dystrophes; milieu généralement sensible à l'acidification.
Appalaches	Neutre	Méso-eutrophes et moyennement dystrophes; milieu moyennement sensible à l'acidification; lacs peu profonds.

[a]Selon Potvin et Grimard (1983) ainsi que Rodrigue et DesGranges (1989)
[b]Lac alcalin : pH ≥ 7,0; lac neutre : pH 5,6-6,9; lac acide : pH ≤ 5,5.

Tableau 3
Coefficients de corrélation de Spearman (r_s) pour la comparaison des valeurs des principaux paramètres de la qualité de l'eau et de la morphométrie des lacs étudiés dans le sud et le nord du Québec : Acidité (pH), conductivité (CD), alcalinité (AC), sulfates (SF), calcium (Ca), phosphore total (PT), azote Kjeldahl (NK), chlorophylle «a» (YA), carbone organique total (CT), couleur (CO), aluminium total (Al), fer (Fe), superficie (SU), profondeur maximale (PX) et altitude (AT)

QUÉBEC MÉRIDIONAL[a]									QUÉBEC SEPTENTRIONAL[b]					
pH	0,25	0,85	—	0,37	?	—	—	?	—	– 0,43	– 0,31	—	– 0,33	—
0,38	**CD**	0,34	0,71	0,91	?	– 0,27	—	?	– 0,28	0,24	—	– 0,35	—	0,42
0,67	—	**AC**	—	0,48	?	0,30	—	?	0,31	– 0,45	– 0,27	—	– 0,26	—
—	0,46	—	**SF**	0,61	?	—	—	?	—	0,51	0,28	– 0,33	—	0,27
0,81	0,62	0,54	0,37	**Ca**	?	– 0,24	—	?	– 0,30	—	—	– 0,28	—	0,42
—	—	– 0,28	—	—	**PT**	?	?	?	?	?	?	?	?	?
0,41	0,23	– 0,28	—	0,41	—	**NK**	0,76	?	0,83	—	0,26	—	– 0,57	– 0,35
—	0,23	—	—	0,28	0,38	0,37	**YA**	?	0,55	—	—	—	– 0,38	—
0,27	0,34	0,29	—	0,39	—	0,57	0,49	**CT**	?	?	?	?	?	?
—	—	—	—	—	0,33	0,28	0,41	0,47	**CO**	—	0,24	—	– 0,45	– 0,36
– 0,79	– 0,31	– 0,45	—	– 0,65	—	– 0,28	—	—	0,42	**Al**	0,32	– 0,34	—	—
– 0,30	—	—	– 0,27	– 0,26	0,29	—	—	—	0,65	0,46	**Fe**	—	—	—
0,23	—	0,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	**SU**	—	– 0,25
– 0,29	—	—	—	—	– 0,28	– 0,65	—	– 0,30	—	—	—	– 0,46	**PX**	0,26
—	– 0,46	—	– 0,31	– 0,36	—	—	– 0,33	—	—	0,32	0,26	—	—	**AT**

[a]Québec méridional $n = 78$, $d.l. = 76$ $p = 0,01$, $r_s = 0,29$; $p = 0,05$, $r_s = 0,22$
[b]Québec septentrional $n = 68$, $d.l. = 66$ $p = 0,01$, $r_s = 0,31$; $p = 0,05$, $r_s = 0,24$

Dans l'ensemble, les lacs neutres de toundra se caractérisent par une oligotrophie évidente, voire une ultraoligotrophie alors que les lacs neutres du muskeg et de la taïga s'avèrent plus productifs en moyenne. Par contre, les lacs acides et alcalins de la taïga s'opposent fortement, ces derniers s'avérant beaucoup plus productifs. Cela tient probablement aux fortes teneurs en métaux lourds toxiques qui nuisent certainement à la production biologique dans les lacs très acides (pH < 4,2) de la taïga.

3.2.2.2. Réseau trophique

Un sous-ensemble de nos lacs (soit 14 situés dans les Moyennes-Laurentides, près de Maniwaki et 13 situés dans la taïga, près de Schefferville) ont été examinés en détail dans le cadre d'une étude descriptive des liens trophiques de 50 lacs représentant un éventail assez complet des conditions d'acidité existant dans les lacs du Québec (IEC Beak, 1985). La région de Maniwaki reçoit un apport significatif de sulfates atmosphériques et l'on croit que certains des lacs retenus sont acidifiés par les pluies acides. Dans la région de Schefferville, les lacs acides recouvrent des dépôts minéraux riches en sulfures, ce qui expliquerait leur très grande acidité. On a aussi examiné des lacs colorés par des acides humiques de tourbières dans les régions de Sept-Îles et de Gagnon. L'échantillon de lacs comprend des lacs neutres et alcalins bien répartis entre chacune des régions. Plusieurs des lacs à l'étude sont des lacs d'amont isolés biogéographiquement et dont la colonisation par les poissons est peut-être impossible. Plusieurs lacs sont également petits et peu profonds et peuvent être périodiquement exposés à l'anoxie hivernale, qui modifie profondément la structure des communautés aquatiques.

Cette étude fait ressortir des variations intéressantes dans la composition spécifique et l'abondance des populations de poissons, de zooplancton et de zoobenthos le long d'un gradient d'acidité pour les lacs du Bouclier canadien au Québec.

Seulement 2 des 16 lacs avec un pH inférieur à 5,5, renferment des poissons mais, à l'exception des lacs acidifiés (d'origine géologique) de la région de Schefferville, on pense que l'isolement biogéographique ou des éléments limitants de l'habitat sont les facteurs qui sont les premiers responsables de l'absence de poissons dans ces lacs. Cette conclusion est appuyée par la découverte de communautés ichtyennes appauvries dans plusieurs lacs neutres de haute altitude, offrant un pH supérieur à 6,0. Ces lacs neutres présentent habituellement une communauté caractéristique des eaux froides : salmonidés, catostomidés et cyprinidés. On pense que dans les régions étudiées, ce type de populations est le plus menacé par l'acidification des lacs d'amont.

Si nous considérons tous les lacs étudiés, le régime alimentaire de l'espèce dominante de poissons est diversifié et comporte presque tous les groupes principaux d'invertébrés. Les groupes qualifiés de vulnérables à l'acidité, tels que les mollusques et les amphipodes, sont une source importante de nourriture dans quelques lacs neutres présentant une faible alcalinité. Les éphémères, les odonates et les trichoptères constituaient des proies importantes là où nous avons trouvé des poissons.

Notre étude du benthos indique que seuls les mollusques, les amphipodes, les éphémères et les cladocères pélagiques sont rares dans les lacs modérément acides (pH 5,3 - 4,6) tandis que plusieurs autres groupes importants survivent. À un pH de 4,2 à 3,0, quelques groupes, dont les chironomidés, pourraient être une source importante de nourriture pour les poissons.

Parce que l'isolement biogéographique et les limitations de l'habitat restreignent la communauté de poissons dans les eaux d'amont, plus vulnérables à l'acidification, les chaînes alimentaires sont souvent relativement simples. Elles sont habituellement composées d'un poisson omnivore et de ses principales proies benthiques. Les organismes planctoniques ne semblent pas tenir un rôle important dans la chaîne alimentaire des poissons adultes, sauf possiblement les rares cyprins de nos lacs.

Les contraintes liées à l'échantillonnage benthique ont limité la récolte de données quantitatives sur plusieurs groupes importants d'insectes nageurs libres, c'est-à-dire les insectes prédateurs : hémiptères, odonates et coléoptères. Pour cette raison, il nous est difficile d'établir s'il y a réelle augmentation de cette population benthique dans les lacs sans poissons. L'attribution d'une cote d'abondance semi-quantitative indique cependant que ces groupes benthiques ont tendance à être plus nombreux dans les lacs sans poissons. Il y a cependant, de façon significative, plus de cladocères benthiques dans les lacs sans poissons modérément acides que dans les lacs neutres ou alcalins. De plus, l'étude du plancton a permis d'observer de fortes densités des insectes prédateurs *Chaoborus, Acilius* et *Buenoa* dans quelques-uns des lacs sans poissons. Sauf exception, les communautés zooplanctoniques de nos lacs modérément acides ressemblent aux communautés influencées par l'acidification plutôt que par l'absence de prédation par les poissons.

4. Dénombrement des oiseaux

Nous avons utilisé une modification de la technique des relevés d'avifaune par station d'écoute (Blondel *et al.*, 1970) pour dénombrer les oiseaux lacustres qui fréquentaient les lacs de l'étude à la période de nidification. Cette technique est assez rapide et permet, par conséquent, de visiter un grand nombre de lacs à chacun des étés. Dans son principe, la méthode que nous avons employée est analogue à celle décrite par Blondel *et al.* (1970), à cette différence près qu'au lieu de rester immobiles durant 20 minutes, nous profitions de ce laps de temps pour explorer en marchant chacun des habitats qui se trouvaient en deçà de 60 m du point central de la station. Chacun des contacts obtenus avec les oiseaux présents était localisé le plus précisément possible sur un croquis de la station, esquissé sur place durant les quelques minutes précédant le dénombrement. Nous avons choisi d'apporter ces quelques modifications à la technique conventionnelle, car notre but était de mesurer l'abondance relative de chaque espèce, non seulement pour chacune des stations mais aussi dans chaque type d'habitat.

Toutes les stations d'écoute se trouvaient dans des habitats en majorité ripariens. Chacune a reçu la visite d'un ornithologue au cours de la période de nidification (i.e. du début de juin dans le sud du Québec à la mi-juillet dans le nord de la province). Tous les dénombrements ont eu lieu le matin, entre le lever du jour et 7 h (HNE), les jours sans pluie et sans vent important. Ces conditions correspondent aux périodes où les oiseaux sont les plus actifs et manifestent davantage leur territorialité (Robbins, 1981*a*, *b*). La période de nidification étant relativement courte dans les régions nordiques et la plupart des espèces nichant habituellement à la même période, nous croyons qu'une seule visite aux différentes stations a suffi pour avoir une idée assez juste de l'effectif nicheur.

Tous les matins, quand les conditions météorologiques étaient favorables, un hélicoptère de type «A-Star

350 D» s'envolait avec à son bord trois ornithologues, qui effectuaient chacun un relevé de l'avifaune des quatre ou cinq lacs visités. Avant de déposer les ornithologues à leur station, l'hélicoptère faisait lentement le tour du lac à basse altitude, ce qui permettait de recenser les oiseaux aquatiques et de déterminer l'emplacement définitif des stations d'écoute.

5. Résultats

5.1. Hiérarchisation des biotopes et de leur avifaune

5.1.1. Trois communautés principales

Plus de 7 000 observations d'oiseaux de 102 espèces différentes ont servi à partager l'avifaune en cinq groupes principaux (la liste des espèces appartenant à chacun des groupes est fournie à l'annexe 2). Pour y arriver, nous avons employé l'analyse factorielle des correspondances (ANAFACOR) (Benzécri, 1973; Hill, 1974), une méthode d'ordination de plus en plus utilisée dans les études des relations oiseaux-habitats (Beaver *et al.*, 1980; Prodon et Lebreton, 1981; DesGranges et Darveau, 1985) (voir la section 5.2.1. pour plus de détails). Les figures 5 et 6 montrent, de façon semi-schématisée, l'«étalement» des milieux physionomiques et des oiseaux dans le plan F_1–F_2 des ANAFACOR portant sur les oiseaux du sud et du nord du Québec. Par souci de clarté, nous ne présentons pas la position exacte des différents habitats et des différentes espèces (plusieurs positions étant superposées), préférant plutôt montrer à l'aide d'«ellipses» les groupes d'espèces qui fréquentent assidûment les différents milieux.

Un grand nombre d'espèces d'oiseaux fréquentent les lacs et les habitats ripariens des régions forestières du sud du Québec. La figure 5 les partage en trois groupes principaux. Les espèces typiquement aquatiques s'isolent clairement des espèces terrestres. Parmi ces dernières, l'ordination statistique permet de reconnaître deux groupes principaux : les espèces des milieux ripicoles et celles des milieux forestiers. Un certain nombre d'espèces ont des mœurs plus ubiquistes de sorte qu'elles se concentrent près de l'origine des axes. Bien qu'elles fréquentent souvent des habitats en transition, nous avons choisi de les associer au biotope qu'elles fréquentent le plus souvent pour faciliter les analyses statistiques. Parfois, nous avons tenu compte des formations botaniques (i.e. habitats taxonomiques) fréquentées par ces espèces, afin de nous assurer de la justesse de notre classification.

Le nombre d'espèces d'oiseaux susceptibles d'être observées près des lacs des régions nordiques du Québec est beaucoup moins élevé que dans le sud de la province. Cette différence tient surtout au petit nombre d'espèces forestières, les forêts feuillues étant en définitive inexistantes dans ce secteur du Québec.

Dans les sections qui vont suivre, nous ne considérons que les espèces lacustres (i.e. les espèces aquatiques et ripicoles) car ce sont les seules pour lesquelles nous avons recueilli des données détaillées sur les caractéristiques physiques, chimiques et botaniques de leurs habitats.

Figure 6
Représentation semi-schématisée montrant le partage des espèces d'oiseaux entre les principaux types de milieux du Québec septentrional. La liste des espèces formant les différents groupes est fournie à l'annexe 2.

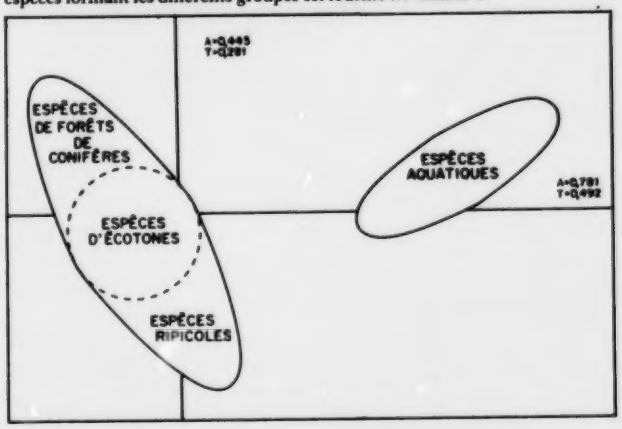
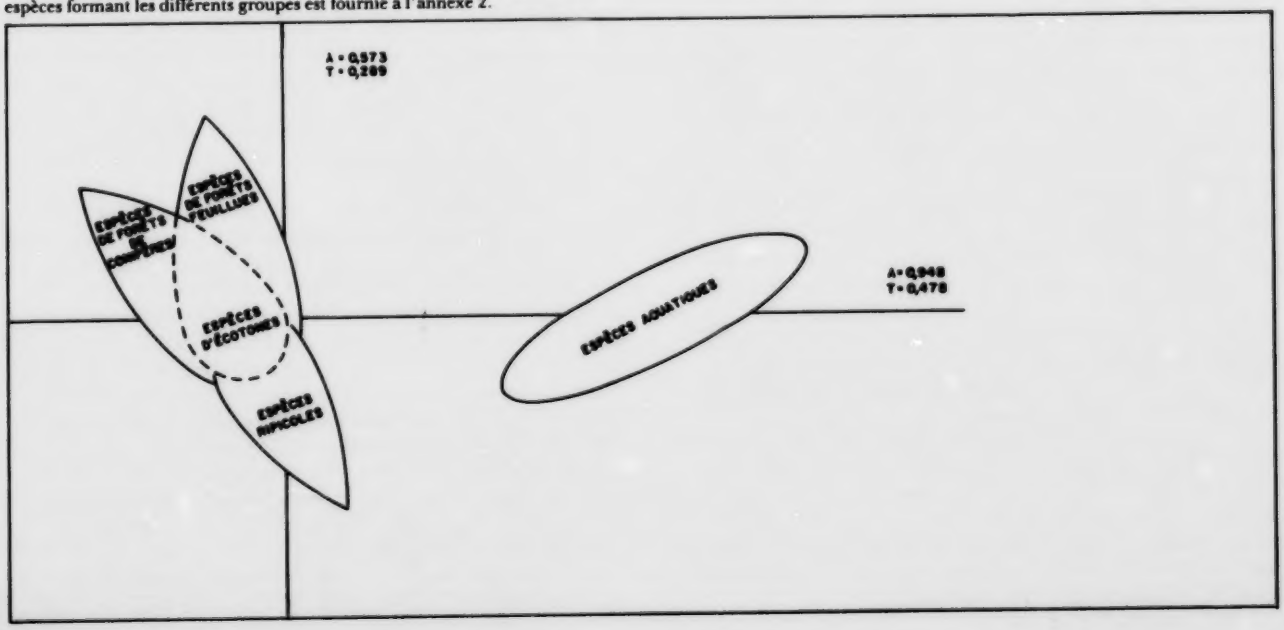


Figure 5
Représentation semi-schématisée montrant le partage des espèces d'oiseaux entre les principaux types de milieux du Québec méridional. La liste des espèces formant les différents groupes est fournie à l'annexe 2.



5.1.2. Composition et structure des communautés d'oiseaux lacustres selon les districts naturels

Le tableau 4 traduit les fréquences centésimales (% des lacs fréquentés) et les abondances relatives (nombre moyen d'individus observés par lac fréquenté) des différentes espèces d'oiseaux lacustres sur les lacs étudiés dans chacun des districts naturels du Québec. Pour en faciliter l'interprétation, nous avons utilisé des caractères d'imprimerie différents dans le cas des espèces les plus régulières et les plus abondantes. Ces données doivent être examinées avec un esprit critique, étant donné que des espèces et des individus sont probablement passés inaperçus au moment de notre visite dans leur territoire. Nous croyons tout de même que ces chiffres constituent des estimations de présence et d'abondance relatives très acceptables, qui permettent de caractériser adéquatement les préférences écologiques des espèces d'oiseaux lacustres les plus fréquemment observées.

Les districts naturels du Québec méridional hébergent une avifaune lacustre généralement plus variée que celle qui fréquente les lacs des districts naturels du Québec septentrional (tableau 5). Dans ce secteur de la province, seul le muskeg possède une richesse spécifique (nombre moyen d'espèces par lac) comparable à ce que l'on trouve dans le sud. À l'examen du tableau 5, on constate que le pool d'espèces lacustres (nombre d'espèces rencontrées couramment ($\geq$ 10 %) sur les lacs d'un district naturel) est d'environ 30 espèces dans les districts naturels du sud, 25 dans la taïga et le muskeg, 20 dans la toundra alpine et 15 dans la toundra arctique. Si la richesse spécifique du muskeg se compare à celle des milieux lacustres du sud de la province bien que son pool d'espèces soit plus faible, c'est que celui-ci comprend un grand nombre d'espèces constantes, i.e. présentes sur la plupart ($\geq$ 75 %) des lacs, ce qui n'est pas le cas des autres districts naturels de ce secteur de la province. L'avifaune des lacs des Moyennes-Laurentides est significativement plus pauvre (ANOVA, $F(2,75) = 34,07$; $p < 0,0001$ — Test de comparaisons multiples de Duncan (Duncan, 1975), $p \leq 0,05$) que celle des autres districts naturels du sud de

Tableau 4
Présences et abondances relatives des espèces d'oiseaux lacustres rencontrées couramment dans les principaux districts naturels du Québec

		Districts naturels											
Espèces	Codes	Appalaches (n = 8)	Moyennes-Laurentides (n = 60)	Hautes-Laurentides (n = 10)	Taïga (n = 38)	Muskeg (n = 15)	Toundra alpine (n = 7)	Toundra arctique (n = 8)
Huard à collier	HUA	38 % (2,7)	33 % (1,4)	60 % (2,2)	P[a]	P	P	P
Butor d'Amérique	BUT	63 % (2,8)	15 % (1,3)	10 % (2,0)				
Bernache du Canada	BCN				61 % (3,4)	73 % **(10,9)**	57 % (3,0)	50 % **(5,3)**
Canard noir	CN	63 % (2,0)	33 % (1,7)	**90 %**[b] (1,9)	11 % (1,0)	53 % (4,3)	14 % (1,0)	
Sarcelle à ailes vertes	SAV	38 % (2,0)	3 % (2,0)	50 % (2,2)	11 % (1,0)	40 % **(6,2)**	14 % (2,0)	
Morillon à collier	MOC	**75 %** (3,2)	**48 %** (3,2)	30 % (2,0)				
Grand Morillon	GMO				18 % (2,9)	40 % (5,8)		
Garrot commun	GAC	13 % (2,0)	42 % (2,0)	50 % (2,8)	P		P	
Macreuse à bec jaune	MAJ				16 % (1,8)	20 % (3,0)	14 % (2,0)	
Bec-scie couronné	BSC		23 % (1,9)	30 % (1,3)				
Grand Bec-scie	GRB		15 % (1,6)	20 % (1,5)	8 % (4,7)		14 % (4,0)	25 % (2,5)
Bec-scie à poitrine rousse	BSR				16 % (2,7)	13 % (3,5)	43 % (1,3)	38 % (2,7)
Aigle-pêcheur	PEC	13 % (1,0)	3 % (1,0)	60 % (1,5)	P			
Pluvier à collier	COL				5 % (2,5)	40 % (2,0)	14 % (2,0)	13 % (2,0)
Pluvier kildir	KIL	25 % (1,5)	1 % (1,2)	20 % (4,5)				
Chevalier solitaire	VAL		3 % (1,0)	40 % (2,8)	P	P		
Maubèche branle-queue	MBQ	38 % (1,7)	37 % (2,2)	**80 %** **(7,1)**	24 % (2,4)	27 % (1,8)	29 % (3,0)	
Bécasseau minuscule	BEM				42 % (2,3)	**93 %** **(6,6)**	43 % (1,3)	**88 %** (3,4)
Bécasseau roux	BER				18 % (4,4)	67 % **(5,2)**		
Bécassine des marais	BO	50 % (3,0)	3 % (2,5)	20 % (3,0)	39 % (2,5)	**100 %** (4,3)	14 % (2,0)	38 % (1,3)
Phalarope hyperboréen	PHA				5 % (1,5)	73 % **(8,2)**	14 % (1,0)	25 % (4,0)
Goéland argenté	ARG	P	P	P	50 % (2,4)	73 % (2,2)	57 % (2,8)	**88 %** (3,1)
Sterne arctique	STA				34 % (2,9)	**87 %** (3,2)	71 % (3,0)	25 % **(5,0)**
Martinet ramoneur	RAM	38 % (1,3)	25 % (2,4)	30 % (2,3)				
Colibri à gorge rubis	CGR	38 % (1,3)	15 % (1,3)	40 % (1,3)				
Martin-pêcheur d'Amérique	MP	38 % (1,0)	1 % (1,0)	20 % (1,0)				
Moucherolle à côtés olive	MOL	**75 %** (2,7)	63 % (2,2)	**80 %** (2,5)				
Moucherolle des aulnes	MAU	38 % **(5,3)**	17 % (1,8)	30 % **(5,7)**				
Tyran tritri	TYR	63 % (2,2)	42 % (2,1)	20 % (4,0)				
Alouette cornue	ALO						P	50 % (3,3)
Hirondelle bicolore	HB	**88 %** **(8,3)**	63 % (2,7)	**100 %** **(13,3)**	21 % (2,0)	27 % (3,0)		
Hirondelle des granges	HG	63 % (2,0)	3 % (3,0)	60 % (2,7)				
Merle d'Amérique	M	**100 %** **(7,8)**	38 % (2,3)	**100 %** **(8,2)**	61 % (1,9)	73 % (2,5)	71 % (2,8)	P
Pipit commun	PIP				5 % (1,0)	P	29 % (3,5)	50 % (2,8)
Fauvette à couronne rousse	ROU				13 % (2,0)			
Fauvette des ruisseaux	RUI	63 % (4,0)	25 % (1,8)	**80 %** (7,9)	68 % (2,7)	73 % (1,7)	29 % (2,0)	
Fauvette masquée	MAS	**100 %** **(14,0)**	**100 %** **(7,5)**	**90 %** **(12,9)**				
Fauvette à calotte noire	CAL	25 % **(5,5)**	15 % (1,4)	**100 %** (4,7)	P			
Pinson hudsonien	HUD				**100 %** **(6,7)**	**100 %** **(7,9)**	**100 %** **(7,1)**	**75 %** **(5,5)**
Pinson des prés	PRE			P	24 % (1,7)	**93 %** **(5,4)**		**75 %** (3,3)
Pinson chanteur	PCT	**88 %** (3,9)	18 % (2,0)	30 % **(9,7)**				
Pinson de Lincoln	LIN	**75 %** (1,7)	40 % (2,0)	**90 %** **(8,6)**	29 % (2,0)	47 % (1,7)		
Pinson des marais	MAR	**88 %** **(12,0)**	**92 %** **(6,2)**	**90 %** **(11,6)**		P		
Pinson à couronne blanche	COB				**89 %** (2,9)	**80 %** (3,3)	**86 %** (3,2)	50 % (1,8)
Bruant lapon	BRU							**88 %** **(8,4)**
Carouge à épaulettes	CAR	**100 %** **(29,3)**	65 % **(6,3)**	**90 %** **(6,0)**				
Mainate rouilleux	MRO	38 % (1,0)	23 % (1,9)	**90 %** **(6,7)**	61 % (3,7)	**100 %** **(7,1)**		
Mainate bronzé	MAI	**100 %** (4,5)	45 % (2,7)	**90 %** (3,1)				
Sizerin flammé	SIZ				39 % (1,5)	27 % (2,5)	43 % (3,0)	50 % (2,5)
Chardonneret des pins	CHA	**75 %** (1,8)	18 % (3,1)	**90 %** **(14,7)**				

[a] La lettre-symbole P indique la présence de l'espèce.

[b] Les nombres en caractères gras indiquent les espèces les plus régulières et les plus abondantes de chacun des districts naturels.

Tableau 5
Caractéristiques de la structure des communautés d'oiseaux lacustres des districts naturels visités

	Nombre de lacs visités	Richesse spécifique	Indice de diversité de Shannon	Indice d'équitabilité	Espèces constantes (≥ 75 % des lacs)	Espèces occasionnelles (≤ 25 % des lacs)	Pool d'espèces	Pool d'espèces aquatiques	Pool d'espèces ripicoles
Appalaches	8	16,3	3,28	0,82[a]	11	4	29	12	17
Moyennes-Laurentides	60	10,0[a]	2,80[a]	0,87	2	14	32	15	17
Hautes-Laurentides	10	18,8	3,62	0,86	14	6	32	15	17
Taïga	38	8,6	2,66	0,89	2	12	26	10	16
Muskeg	15	14,2[b]	3,36[b]	0,88	7	5	23	9	14
Toundra alpine	7	7,6	2,57	0,88	2	10	19	8	11
Toundra arctique	8	8,3	2,66	0,88	3	4	16	4	12

[a]SUD : L'équitabilité des Appalaches est significativement plus faible.
La richesse spécifique et la diversité des Moyennes-Laurentides sont significativement plus faibles.
[b]NORD : La richesse spécifique et la diversité du muskeg sont significativement plus grandes.

la province parce qu'elle comprend surtout des espèces occasionnelles, i.e. présentes sur très peu (≤ 25 %) de lacs). C'est pour ces raisons que l'indice de diversité de Shannon est plus faible dans le sud de la province (ANOVA, $F(2,75) = 15,27$; $p < 0,0001$ — Duncan, $p \leq 0,05$) pour les lacs des Moyennes-Laurentides et qu'elle est plus grande (ANOVA, $F(3,64) = 7,62$; $p < 0,0002$ — Duncan, $p \leq 0,05$) dans le nord pour les lacs du muskeg. L'avifaune lacustre des Appalaches est caractérisée par un indice d'équitabilité faible (ANOVA, $F(2,75) = 4,40$; $p < 0.016$ — Duncan, $p \leq 0,05$). Cela tient au fait que plus de la moitié des oiseaux lacustres qui y ont été observés appartiennent à trois espèces seulement (i.e. le Carouge à épaulettes, la Fauvette masquée et le Pinson des marais). Ailleurs le partage des individus entre les différentes espèces est plus équitable.

Les espèces aquatiques représentent un peu plus de 40 % des espèces lacustres de la plupart des districts naturels. La toundra arctique semble cependant faire exception. Dans ce milieu (que nous avons peut-être sous-échantillonné), les espèces aquatiques ne représentent que 25 % de l'avifaune lacustre.

L'avifaune lacustre des trois districts naturels étudiés dans le sud du Québec se ressemble beaucoup. Une ANAFACOR (non reproduite ici) réalisée à partir des abondances relatives du tableau 4 les situe très près les uns des autres dans un espace bidimensionnnel. À l'examen du tableau 4, on constate néanmoins quelques différences qui méritent d'être soulignées. Le Butor d'Amérique, le Morillon à collier et le Pinson chanteur fréquentent de préférence les lacs des Appalaches tandis que le Huard à collier, le Canard noir, l'Aigle-pêcheur, la Maubèche branle-queue, la Fauvette à calotte noire et le Mainate rouilleux ont été observés plus souvent à proximité des lacs des Hautes-Laurentides. Les communautés d'oiseaux qui fréquentent les lacs des districts naturels du Québec septentrional diffèrent davantage entre elles. Les lacs du muskeg, de la taïga et de la toundra alpine partagent un même pool d'espèces tandis que la toundra arctique possède une avifaune lacustre plus distincte.

À l'examen du tableau 4, on constate que les lacs du muskeg conviennent mieux à la Sarcelle à ailes vertes, à la Bécassine des marais, au Bécasseau minuscule et au Bécasseau roux et que par ailleurs le Bruant lapon est une espèce abondante qui ne se rencontre qu'autour des lacs de la toundra arctique.

5.1.3. Composition et structure des communautés d'oiseaux lacustres selon l'acidité des lacs

Le tableau 6 fournit les fréquences centésimales et les abondances relatives des différentes espèces lacustres sur les lacs acides et non acides étudiés dans les Laurentides et la taïga. Cette analyse se limite à ces deux régions car se sont les seules où nous ayons rencontré chacun des deux types de lac. Ici aussi, nous avons utilisé des caractères d'imprimerie différents dans le cas des espèces les plus régulières et les plus abondantes.

Quel que soit leur degré d'acidité, les lacs situés dans les Laurentides hébergent en moyenne une douzaine d'espèces lacustres (tableau 7). Celles-ci font partie d'un pool constitué de 32 espèces partagées également entre des espèces aquatiques et ripicoles. Tout comme la richesse spécifique, l'indice de diversité de Shannon et l'indice d'équitabilité ne diffèrent pas significativement entre les lacs acides et non acides de ce secteur de la province (ANOVA, $F(1,68) \leq 0,70$; $p \geq 0,41$).

La situation qui prévaut autour des lacs acides étudiés dans la taïga est très différente de celle qui caractérise les lacs neutres et alcalins de ce district naturel. On y a observé en moyenne deux fois moins d'espèces lacustres comparativement aux lacs neutres ou alcalins (tableau 7; ANOVA, $F(1,36) = 17,99$; $p < 0,0001$ — Duncan, $p \leq 0,05$). Chacun de ces derniers accueille en moyenne une dizaine d'espèces lacustres, ce qui se rapproche de la richesse spécifique des lacs laurentiens (une douzaine d'espèces environ) (tableau 5). Ce sont principalement des espèces aquatiques qui manquent au pool d'espèces des lacs acides. Alors qu'une dizaine d'espèces d'oiseaux aquatiques se rencontrent couramment sur les lacs non acides de la taïga, on n'a observé que deux espèces de sauvagine (soit la Bernache du Canada sur 43 % des lacs acides et le Bec-scie à poitrine rousse sur 14 % de ces lacs) et exceptionnellement des limicoles sur les lacs acides. L'indice de diversité de Shannon est aussi significativement plus faible dans le cas des lacs acides (ANOVA, $F(1,36) = 16,84$; $p < 0,0002$ — Duncan, $p \leq 0,05$) tandis que l'indice d'équitabilité diffère peu entre les deux types de lacs (ANOVA, $F(1,36) = 2,57$; $p < 0,12$). De fait, seuls les lacs très acides étudiés dans la taïga présentent une structure de leur communauté d'oiseaux lacustres très différente de celle qui caractérise l'ensemble des lacs des Laurentides et de la taïga (tableau 7).

À l'examen du tableau 6, on constate que trois espèces ont semblé préférer les lacs acides dans les Laurentides. Ce sont le Morillon à collier, le Garrot commun et le Pinson de Lincoln.

Tableau 6
Présences et abondances relatives des espèces d'oiseaux lacustres rencontrées couramment autour des lacs acides ou neutres de la forêt laurentienne

		Districts naturels			
		Moyennes- & Hautes-Laurentides		Taïga	
Espèces	Codes	Acides[a] (n = 20)	Non acides (n = 50)	Acides (n = 7)	Non acides (n = 31)
Huard à collier	HUA	35 % (1,1)	38 % (1,7)		P[b]
Butor d'Amérique	BUT	5 % (1,0)	18 % (1,4)		
Bernache du Canada	BCN			43 % (3,0)	65 % (3,5)
Canard noir	CN	40 % (1,8)	42 % (1,7)	0 % (0,0)	13 % (1,0)
Sarcelle à ailes vertes	SAV	10 % (2,0)	10 % (2,2)	0 % (0,0)	13 % (1,0)
Morillon à collier	MOC	70 % (3,6)	36 % (2,7)		
Grand Morillon	GMO			0 % (0,0)	23 % (2,9)
Garrot commun	GAC	**75 %**[c] (2,4)	30 % (1,9)		P
Macreuse à bec jaune	MAJ			0 % (0,0)	19 % (1,8)
Bec-scie couronné	BSC	35 % (1,9)	20 % (1,7)		
Grand Bec-scie	GRB	15 % (1,7)	16 % (1,5)	0 % (0,0)	10 % (4,7)
Bec-scie à poitrine rousse	BSR			14 % (1,0)	16 % (3,0)
Aigle-pêcheur	PEC	15 % (1,0)	10 % (1,6)	P	P
Pluvier à collier	COL			14 % (1,0)	3 % (4,0)
Pluvier kildir	KIL	20 % (1,0)	8 % (3,0)		
Chevalier solitaire	VAL	0% (0,0)	12 % (2,2)		P
Maubèche branle-queue	MBQ	35 % (2,1)	46 % (3,7)	14 % (1,0)	26 % (2,6)
Bécasseau minuscule	BEM			14 % (3,0)	48 % (2,3)
Bécasseau roux	BER			0 % (0,0)	23 % (4,4)
Bécassine des marais	BO	5 % (4,0)	6 % (2,3)	14 % (2,0)	45 % (2,6)
Phalarope hyperboréen	PHA			0 % (0,0)	6 % (1,5)
Goéland argenté	ARG	P	P	0 % (0,0)	61 % (2,4)
Sterne arctique	STA			0 % (0,0)	42 % (2,9)
Martinet ramoneur	RAM	15 % (2,3)	30 % (2,4)		
Colibri à gorge rubis	CGR	15 % (1,3)	20 % (1,3)		
Martin-pêcheur d'Amérique	MP	10 % (1,0)	12 % (1,0)		
Moucherolle à côtés olive	MOL	65 % (2,2)	66 % (2,2)		
Moucherolle des aulnes	MAU	15 % (1,3)	20 % (3,1)		
Tyran tritri	TYR	15 % (4,7)	48 % (1,9)		
Hirondelle bicolore	HB	70 % (5,1)	68 % (4,9)	0 % (0,0)	26 % (2,0)
Hirondelle des granges	HG	15 % (2,7)	10 % (2,8)		
Merle d'Amérique	M	35 % (3,3)	52 % (4,3)	43 % (3,0)	65 % (1,8)
Pipit commun	PIP			0 % (0,0)	6 % (1,0)
Fauvette à couronne rousse	ROU			43 % (2,0)	6 % (2,0)
Fauvette des ruisseaux	RUI	35 % (1,9)	32 % (4,8)	29 % (1,0)	**77 %** (2,9)
Fauvette masquée	MAS	**100 %** (9,2)	**98 %** (7,8)		
Fauvette à calotte noire	CAL	25 % (1,4)	28 % (3,8)	P	P
Pinson hudsonien	HUD	P		**100 %** (4,1)	**100 %** (7,2)
Pinson des prés	PRE	P		0 % (0,0)	29 % (1,7)
Pinson chanteur	PCT	20 % (2,0)	20 % (4,3)		
Pinson de Lincoln	LIN	70 % (2,9)	38 % (4,4)	14 % (5,0)	32 % (1,7)
Pinson des marais	MAR	**95 %** (6,4)	**90 %** (7,1)	**95 %** (6,4)	**90 %** (7,1)
Pinson à couronne blanche	COB			**86 %** (4,2)	**90 %** (2,6)
Carouge à épaulettes	CAR	75 % (7,6)	66 % (5,6)		
Mainate rouilleux	MRO	50 % (2,3)	26 % (4,9)	14 % (1,0)	71 % (3,8)
Mainate bronzé	MAI	55 % (3,5)	50 % (2,5)		
Sizerin flammé	SIZ			71 % (1,8)	32 % (1,3)
Chardonneret des pins	CHA	30 % (3,2)	28 % (10,5)		

[a]Lac acide ≤ pH : 5,5 < lac non acide.
[b]La lettre-symbole P indique la présence de l'espèce.
[c]Les nombres en caractères gras indiquent les espèces les plus régulières et les plus abondantes dans chacune des situations.

Tableau 7
Caractéristiques de la structure des communautés d'oiseaux lacustres selon l'acidité des lacs de la forêt laurentienne

	Nombre de lacs visités	Richesse spécifique	Indice de diversité de Shannon	Indice d'équitabilité	Espèces constantes (≥ 75 % des lacs)	Espèces occasionnelles (≤ 25 % des lacs)	Pool d'espèces	Pool d'espèces aquatiques	Pool d'espèces ripicoles
Laurentides									
Lacs acides[a]	20	11,7	3,01	0,87	3	14	32	15	17
Lacs non acides	50	10,9	2,89	0,87	2	13	32	15	17
Taïga									
Lacs acides	7	4,7[b]	1,96[b]	0,92	3	7	15	2	13
Lacs non acides	31	9,4	2,82	0,88	4	11	27	10	17

[a]Lac acide ≤ pH : 5,5 < lac non acide.
[b]La richesse spécifique et la diversité des lacs acides sont plus faibles dans la taïga seulement.

5.2. Sélection des lacs par les oiseaux aquatiques

5.2.1. Caractérisation des lacs

Les matrices originelles des données de base, pour les 146 lacs échantillonnés, ont la forme de tableaux de contingence où sont indiqués les nombres d'individus de chacune des principales espèces d'oiseaux lacustres (i.e. présentes sur au moins dix lacs du secteur d'étude concerné) rencontrées sur des lacs possédant diverses caractéristiques environnementales. Ces attributs des lacs sont des variables régionales, morphométriques, physico-chimiques, biologiques et pédo-botaniques prenant la forme de descripteurs ordonnés métriques et non métriques ou de descripteurs non ordonnés, répartis chacun en un certain nombre de classes. Les limites de ces classes ont été choisies de façon à respecter autant que possible les catégorisations mises au point par d'autres chercheurs québécois, tout en respectant les principaux seuils dans nos données et tout en cherchant à répartir le plus équitablement possible les observations à l'intérieur des différentes classes. Les espèces d'oiseaux et les descripteurs écologiques retenus apparaissent aux annexes 3 et 4. Étant donné que le nombre de lacs disponibles dans chaque classe n'est pas le même, nous avons transformé les fréquences absolues en fréquences centésimales, c'est-à-dire que chaque case des tableaux de contingence exprime le pourcentage des lacs de chaque type sur lesquels l'espèce a été rencontrée. Ceci facilite grandement la consultation de ces deux annexes. Nous avons toutefois utilisé les fréquences absolues dans les analyses statistiques afin de tenir compte des «poids» respectifs des différentes classes, poids qui considèrent la taille de l'échantillonnage pour chacune des situations «espèce/classe».

Étant donné la nature diverse des descripteurs environnementaux, nous avons choisi l'analyse factorielle des correspondances (ANAFACOR) pour relier les espèces d'oiseaux aux variables écologiques. Cette méthode d'ordination développée pour l'analyse de tableaux de contingence (i.e. variables en classes) offre l'avantage de prendre en considération la disponibilité et la fréquence d'utilisation des différents types de lacs. Elle est particulièrement adaptée au contexte biologique où les variables ne sont pas toujours linéaires (Benzécri, 1973; Hill, 1974).

Une première série d'ANAFACOR faite sur chacune des divisions de ces deux tableaux (utilisant toutefois des fréquences absolues) a permis d'éliminer plusieurs descripteurs et de réduire considérablement le nombre de classes. Pour ce faire, nous avons éliminé d'emblée les descripteurs qui montraient des corrélations faibles avec les trois premiers axes de l'ANAFACOR et nous avons considéré que la proximité des sommets des vecteurs (sur la représentation graphique des axes factoriels F_1-F_2) désignant deux classes «voisines» d'une même variable indiquait que les oiseaux ne les discriminaient probablement pas. Nous les avons donc regroupées ensemble. Cette première étape de rationalisation de la matrice des données a permis de préparer les tableaux qui ont servi de matrices de départ pour les ANAFACOR discutées en détail dans les pages suivantes. Ces tableaux simplifiés ont l'avantage de ne considérer que les caractéristiques des lacs qui agissent le plus sur les espèces d'oiseaux lacustres les plus souvent rencontrées. En restreignant le nombre d'états, nous obtenions des classes plus robustes qui correspondent mieux à la fiabilité de nos données. L'ANAFACOR doit être vue comme essentiellement descriptive, d'où l'absence de seuils de probabilité statistique. Elle met en évidence les correspondances entre les critères de classification des lignes et des colonnes d'un tableau de contingence. En plus de la représentation graphique des correspondances, les logiciels statistiques fournissent des résultats numériques qui aident à l'interprétation. Les trois aides les plus intéressantes sont : le taux d'inertie ($\bar{T}$) qui indique le pourcentage de la variance totale expliqué par le facteur (axe), le pourcentage de contribution absolue qui représente le pourcentage de la variance du facteur expliqué par chacune des variables environnementales et le pourcentage de contribution relative qui indique le pourcentage de la variance dans la distribution des espèces expliqué par le facteur. Les aides à l'interprétation des ANAFACOR discutées dans cet article sont fournies aux annexes 8 et 9. Étant donné le grand nombre d'analyses effectuées et la complexité des graphiques qu'elles génèrent, nous avons choisi de ne publier que deux représentations tridimensionnelles, soit celles se rapportant aux analyses synthèses (figures 7 et 9). Les aides à l'interprétation fournies aux annexes 8 et 9 suffisent pour se faire une idée juste des relations les plus fortes révélées par chacune des analyses.

5.2.2. Effet de l'allure générale des lacs

Nous avons d'abord examiné la façon dont les oiseaux aquatiques des régions forestières du Québec se partagent les lacs en fonction de leur allure générale. Les trois premiers axes de l'ANAFACOR portant sur les oiseaux aquatiques du Québec méridional expliquent toute la variance (annexe 8). Le premier axe représente en quelque sorte le degré de réticulation de la bande de végétation riveraine (i.e. l'importance des interfaces entre la végétation riveraine et l'eau; *sensu* Darveau *et al.*; présente publication). Il explique 57 % de la variance totale. Le deuxième axe montre l'importance que revêt la morphométrie des lacs et explique un 35 % supplémentaire. Le Huard à collier fréquente surtout des lacs où la bande de végétation riveraine est peu développée et peu pénétrable. Nous l'avons trouvé le plus souvent sur des lacs de bonne superficie et assez profonds (comme Silieff et Hussell, 1982). Le Butor d'Amérique, le Canard noir et le Morillon à collier montrent quant à eux une attirance plus forte pour les lacs dont la frange de végétation riveraine est à la fois bien développée et bien réticulée, tel que mentionné par Ringelman et Longcore (1982) et Ringelman *et al.* (1982, dans le cas du Canard noir). Les lacs sont généralement petits (surtout ceux fréquentés par le Morillon à collier) et peu profonds (surtout ceux fréquentés par le Canard noir). Le Garrot commun et le Bec-scie couronné ont été trouvés, pour leur part, sur des lacs généralement profonds avec une bande de végétation riveraine peu réticulée tandis que la Maubèche branle-queue et l'Hirondelle bicolore ont été aperçues en plus grand nombre autour des lacs les plus grands, présentant une frange de végétation riveraine peu développée.

Les trois premiers axes de l'ANAFACOR portant sur les oiseaux aquatiques du Québec septentrional expliquent aussi toute la variance (annexe 8). Le premier axe représente (tout comme dans le cas du sud de la province) le degré de réticulation de la frange de végétation riveraine. Les lacs présentant une bande riveraine peu développée et peu réticulée sont aussi les plus profonds parmi les lacs étudiés. La variance totale est expliquée à 69 % par le premier axe et à 23 % par le deuxième axe, qui illustre le fait que les oiseaux aquatiques évitaient généralement les lacs de faible superficie (< 15 ha).

Nous sommes en quelque sorte en présence de trois groupes d'espèces. Un premier groupe fréquente surtout des lacs dont la frange de végétation riveraine est bien développée et bien réticulée. Il est composé du Bécasseau

roux, du Canard noir, de la Macreuse à bec jaune (déjà noté par Haapanen et Nilsson, 1979), de la Sarcelle à ailes vertes, du Grand Morillon et du Phalarope hyberboréen. À l'opposé se trouvent les espèces qui fréquentent plus particulièrement les lacs à bande de végétation riveraine peu développée. Ce sont le Goéland argenté, la Bernache du Canada, la Maubèche branle-queue et le Bec-scie à poitrine rousse. Le troisième groupe comprend les espèces peu sensibles à l'allure de la rive de sorte qu'elles ont été rencontrées sur des lacs dont la bande de végétation riveraine présentait des degrés de réticulation variés. Ce groupe est formé de la Sterne arctique, du Bécasseau minuscule, de la Bécassine des marais et de l'Hirondelle bicolore.

5.2.3. Effet des caractéristiques physico-chimiques des lacs

La deuxième paire d'ANAFACOR examine la façon dont les oiseaux aquatiques se partagent les lacs des régions forestières du Québec selon la qualité physico-chimique de leurs eaux. En ce qui concerne les oiseaux aquatiques du sud de la province, les trois premiers axes de l'ANAFACOR expliquent 94 % de la variance totale (annexe 8). Le premier axe représente en quelque sorte l'acidité et la capacité tampon des lacs. Il explique 66 % de la variance totale. Le deuxième représente la teneur en aluminium de l'eau et sert surtout à éclaircir le cas des espèces qui évitent les lacs les plus acides. Il explique un 18 % supplémentaire. Les trois espèces de canards plongeurs, i.e. le Garrot commun (plus spécialement comme l'ont déjà constaté Danell et Sjoberg (1978) et DesGranges et Darveau (1985), le Morillon à collier et le Bec-scie couronné, fréquentent le plus souvent des lacs très acides, mal tamponnés et à forte teneur en aluminium. Les autres espèces élisent domicile près des lacs mieux tamponnés et par conséquent moins acides. Le Butor d'Amérique, l'Hirondelle bicolore et le Huard à collier ont été observés sur des lacs dont l'alcalinité était généralement plus grande et la teneur en aluminium, plus faible que celles des lacs fréquentés par la Maubèche branle-queue et le Canard noir. À noter que la couleur de l'eau ne constitue pas un paramètre distinctif, probablement parce que dans les lacs de l'étude, les fortes teneurs en aluminium sont davantage associées à l'acidité élevée ($r = -0,79$, $p < 0,0001$) qu'à la couleur foncée de l'eau ($r = 0,42$, $p < 0,0002$) des lacs (tableau 3; Rodrigue et DesGranges, 1989).

La situation est plus complexe dans le nord de la province. Bien que les trois premiers axes de l'ANAFACOR suffisent à expliquer 90 % de la variance totale (annexe 8), on constate que le pH excessivement faible (i.e. < 4; d'origine géologique) des lacs acides étudiés rend l'interprétation de cette analyse plus difficile. Cette caractéristique des lacs est très importante puisque les oiseaux aquatiques ont évité presque systématiquement ces lacs très acides. Il est possible que les fortes teneurs en métaux lourds toxiques soient également en cause dans le cas de ces lacs au pH excessivement faible. Pour comprendre comment les oiseaux se sont partagé l'ensemble des autres lacs (i.e. neutres ou alcalins), il faut s'attarder à des caractéristiques physico-chimiques un peu moins distinctives. Sur le premier axe (57 % de la variance), il y a la couleur de l'eau tandis que sur le deuxième axe (18 % de la variance), il y a (tout comme dans le cas des lacs du sud du Québec) sa teneur en aluminium. La Maubèche branle-queue et le Bec-scie à poitrine rousse ont été observés sur des lacs à eaux claires tandis que la Sarcelle à ailes vertes, la Macreuse à bec jaune, le Bécasseau roux et le Phalarope hyperboréen ont été rencontrés plus souvent sur des lacs à eaux colorées. Les autres espèces réagissent plus à la teneur en aluminium de l'eau qu'à sa couleur. La Bernache du Canada, l'Hirondelle bicolore et le Grand Morillon ont surtout fréquenté des lacs dont la teneur en aluminium de l'eau était assez élevée tandis que le Goéland argenté, la Sterne arctique, le Bécasseau minuscule et le Canard noir ont recherché davantage des lacs à faible teneur d'aluminium. La Bécassine des marais a fréquenté l'ensemble des lacs alcalins sans accorder trop d'importance à la couleur ou à la teneur en aluminium de l'eau.

5.2.4. Effet des caractéristiques biologiques des lacs

Nous avons également examiné la façon dont les oiseaux aquatiques des régions forestières du Québec adoptent les lacs selon leurs caractéristiques biologiques. Dans le sud de la province, les trois premiers axes d'une ANAFACOR expliquent 88 % de la variance totale (annexe 8). Le premier axe (55 % de la variance) représente en quelque sorte le niveau de production primaire tel qu'estimé à l'aide de la concentration en chlorophylle «a» de l'eau. Le deuxième axe (un autre 20 %) prend en considération les caractéristiques botaniques des lacs avec, d'une part, ceux où les herbiers émergés abondent et d'autre part, les lacs entourés d'herbaçaies avec peu de plantes aquatiques. Le troisième axe (un autre 12 %) renseigne sur l'importance, estimée de façon qualitative (voir IEC Beak, 1985), des vertébrés aquatiques qui peuplent les lacs. Les oiseaux les partagent en lacs poissonneux et lacs sans poissons avec abondance d'amphibiens. Le Garrot commun et le Bec-scie couronné fréquentent tous deux les lacs peu productifs. Toutefois, le Bec-scie couronné utilise davantage les lacs bien entourés d'herbaçaies et où vivent des poissons tandis que le Garrot commun recherche généralement les lacs sans poissons dont la frange riveraine comporte peu d'herbaçaies. Le Butor d'Amérique se trouve presque exclusivement en bordure de lacs productifs, couverts à de nombreux endroits d'herbiers flottants et entourés pour une bonne part d'herbaçaies. Les amphibiens abondent généralement dans les lacs que le Butor adopte. Le Canard noir a été aperçu le plus souvent sur des lacs comprenant de vastes herbiers de plantes émergentes et dont la bande riveraine comportait peu d'herbaçaies. Ces lacs étaient le plus souvent productifs et poissonneux. Le Huard à collier accorde peu d'importance aux caractéristiques botaniques des lacs, pour autant que ceux-ci soient poissonneux et productifs. L'Hirondelle bicolore a choisi des lacs où les plantes émergentes abondent et où les poissons sont souvent absents. Le Morillon à collier et la Maubèche branle-queue constituent en quelque sorte des espèces généralistes, n'ayant pas montré de préférence pour une caractéristique biologique particulière.

Dans le nord de la province, les trois premiers axes de l'ANAFACOR correspondent à 93 % de la variance totale (annexe 8). Le premier axe correspond à lui seul à 72 %. Il sépare en quelque sorte les lacs peu productifs, dont la bande riveraine comporte peu d'herbaçaies, des lacs productifs, entourés de vastes herbaçaies avec mares. Le deuxième axe (un autre 14 %) renseigne sur les types de plantes aquatiques qui dominent les lacs. Les oiseaux les partagent en lacs où poussent en abondance des plantes vasculaires ou des plantes non vasculaires (i.e. mousses et sphaignes). Les lacs productifs, entourés d'herbaçaies avec mares, sont fréquentés par la Sarcelle à ailes vertes, le Canard noir, le Bécasseau roux, le Phalarope hyperboréen, la Bécassine des marais et l'Hirondelle bicolore. Les lacs peu productifs dont la bande riveraine comporte passablement d'herbaçaies (sans mares toutefois) sont utilisés par la Bernache du Canada et le Goéland argenté

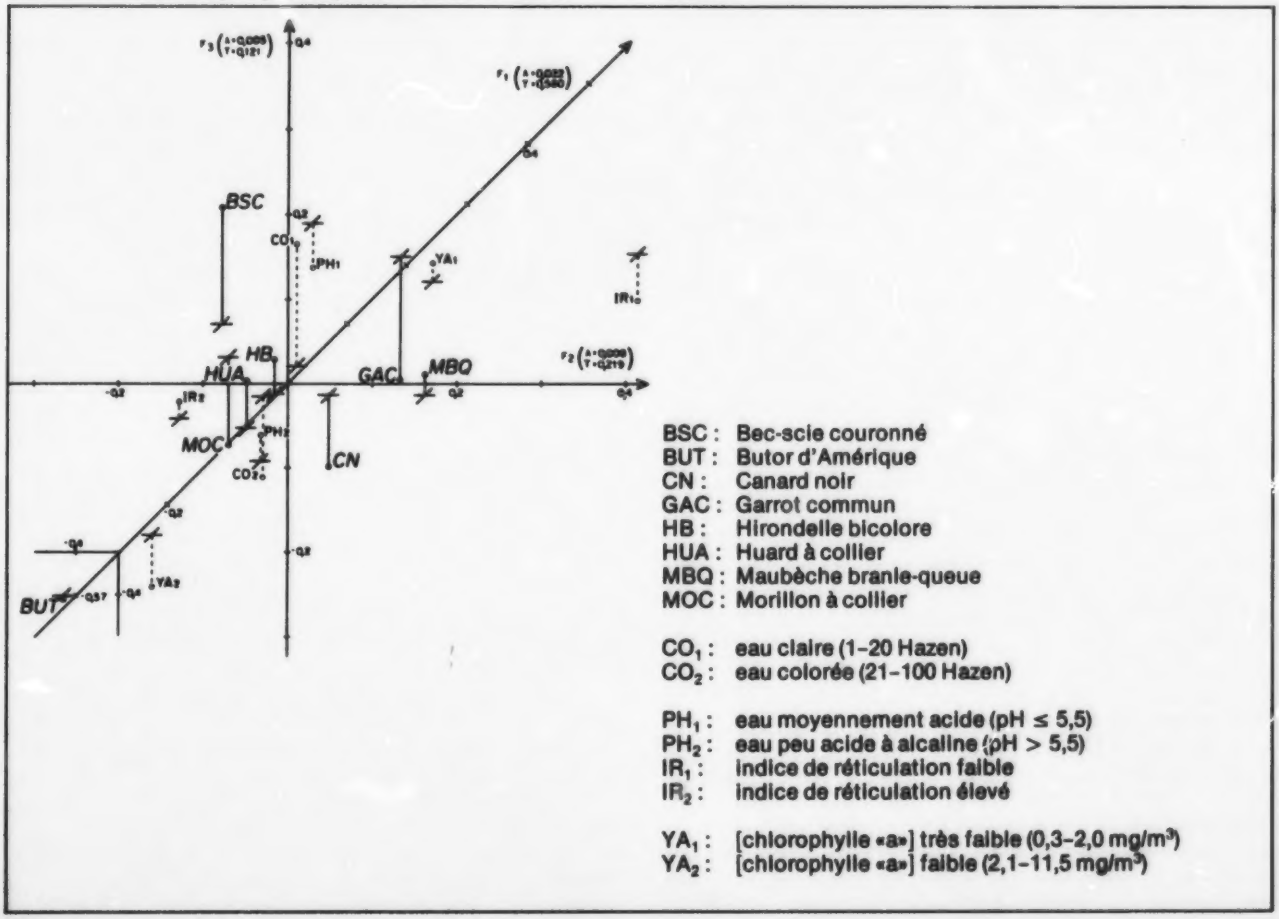
tandis que le Bec-scie à poitrine rousse et la Maubèche branle-queue se trouvent généralement sur des lacs peu productifs avec peu (ou pas) d'herbaçaies en bordure. Le Grand Morillon, qui fréquente surtout les lacs productifs, et la Macreuse à bec jaune ont été rencontrés sur des lacs comportant de bons herbiers de plantes aquatiques vasculaires tandis que le Bécasseau minuscule et la Sterne arctique ont souvent été aperçus sur des lacs où abondent des plantes aquatiques non vasculaires.

5.2.5. Effet de la nature des herbiers aquatiques

Darveau *et al.* décrivent plus loin dans cet ouvrage les principales mosaïques d'herbiers aquatiques qui se trouvent sur les différents types de lacs ayant fait l'objet de cette étude. Il serait intéressant de vérifier à l'aide d'ANAFACOR si les oiseaux aquatiques des régions forestières du Québec fréquentent des lacs à végétation aquatique particulière. Les matrices de départ pour ces analyses se trouvent à l'annexe 5. Les trois premiers axes de l'ANAFACOR portant sur les oiseaux aquatiques du sud de la province expliquent 86 % de la variance totale (annexe 8). Un premier axe (49 % de la variance) sépare les lacs à *Eleocharis Smallii* et *Brasenia Schreberi* de ceux où *Sagittaria latifolia* domine. Le Butor d'Amérique fréquente le premier type de lacs tandis que le Morillon à collier recherche le deuxième type de lacs. Le deuxième axe (un autre 21 %) discrimine les lacs peuplés d'*Utricularia vulgaris* et d'*Eriocaulon septangulare*, généralement sélectionnés par le Garrot commun. Le troisième axe (un autre 16 %) isole les lacs à *Dulichium arundinaceum*, *Potamogeton epihydrus* et *Sparganium eurycarpum*, surtout utilisés par l'Hirondelle bicolore. Le Bec-scie couronné et le Canard noir se retrouvent à la fois sur les lacs à *Eleocharis Smallii*, *Brasenia Schreberi* et ceux à *Eriocaulon septangulare*. Le Huard à collier n'a pas montré pour sa part de préférence pour un type de végétation aquatique particulier.

Une analyse semblable effectuée dans le cas des oiseaux du nord de la province explique 96 % de la variance totale à l'aide des trois premiers axes (annexe 8). Un premier type de lacs caractérisés par des herbiers à *Hippuris vulgaris* est surtout fréquenté par le Canard noir et la Bécassine des marais. Les lacs à *Scorpidium scorpioides* sont généralement utilisés par le Bécasseau minuscule, la Sterne arctique et le Phalarope hyperboréen, quoique le Grand Morillon et la Macreuse à bec jaune s'y retrouvent parfois. Les autres espèces d'oiseaux aquatiques sont moins sélectives. Elles fréquentent des lacs où se trouvent aussi bien *Menyanthes trifolia* (surtout la Macreuse à bec jaune, la Bernache du Canada et le Phalarope hyperboréen), *Potamogeton filiformis* (surtout le Goéland argenté, le Grand Morillon, la Macreuse à bec jaune, l'Hirondelle bicolore et la Bernache du Canada) que *Drepanocladus exannulatus* (surtout l'Hirondelle bicolore, la Bernache du Canada et le Goéland argenté).

Figure 7
ANAFACOR montrant comment l'acidité, la productivité biologique et le degré de réticulation de la végétation riveraine influent sur la sélection de l'habitat chez les oiseaux aquatiques du Québec méridional. Les valeurs propres (λ) renseignent sur l'intensité de la relation entre les axes tandis que les taux d'inertie (T) mesurent la fraction de la variance expliquée par chacun des axes.



5.2.6. Effet de l'acidité sur la sélection des lacs

Dans les sections précédentes, nous avons examiné l'importance que les oiseaux aquatiques accordent à différents types de paramètres environnementaux dans la sélection des lacs qu'ils fréquentent au moment de la nidification. Nous allons maintenant étudier simultanément l'effet des principales caractéristiques morphologiques, physico-chimiques et biologiques des lacs. Nous serons ainsi à même d'évaluer l'importance relative de chacune de ces caractéristiques environnementales dans la sélection des lacs par les oiseaux aquatiques. Notre but étant d'apprécier plus spécialement le rôle de l'acidité, nous limiterons cette analyse aux seuls lacs de la forêt laurentienne et de la taïga car c'est dans ces deux districts naturels que se trouvent tous les lacs acides que nous avons étudiés. En réduisant le nombre de lacs servant aux analyses statistiques, nous avons aussi dû diminuer le nombre d'espèces d'oiseaux et de variables environnementales pour ne tenir compte que de celles rencontrées régulièrement dans ces deux districts naturels.

La figure 7 se rapporte à la situation qui prévaut sur les lacs de la forêt laurentienne. Les trois premiers axes de l'ANAFACOR expliquent 92 % de la variance totale (annexe 8). Le premier axe (58 %) représente en quelque sorte le niveau de production primaire et l'acidité. Les oiseaux aquatiques fréquentent soit les lacs peu productifs et acides (probablement parce que pauvres en éléments nutritifs et peu tamponnés, étant situés dans des massifs granitiques) ou soit les lacs productifs alcalins ou peu acides. Le deuxième axe (un autre 22 %) tient compte du degré de développement et de réticulation de la frange de végétation riveraine tandis que le troisième axe (un autre 12 %) montre l'importance que revêt la couleur de l'eau. La figure 8 montre de façon semi-schématisée comment les oiseaux aquatiques du Québec méridional se répartissent sur les lacs en fonction des deux principaux gradients révélés par cette analyse. Le Butor d'Amérique recherche activement les lacs productifs, alcalins (ou peu acides) qui sont bordés d'une bonne bande de végétation riveraine bien réticulée. Le Huard à collier fréquente de préférence les lacs productifs et non acides, le plus souvent à eaux claires. Le Garrot commun utilise surtout quant à lui les lacs peu productifs, acides et dont la bande de végétation riveraine est peu développée. Le Bec-scie couronné et le Morillon à collier se rencontrent généralement sur des lacs acides. Ils diffèrent toutefois du Garrot commun en ce qu'ils préfèrent les lacs acides dont la bande de végétation riveraine est bien développée et réticulée. Le Morillon utilise surtout des lacs à eaux brunes tandis que le Bec-scie couronné est davantage attiré par les lacs à eaux claires. Le Canard noir se rencontre sur plusieurs types de lacs mais plus particulièrement sur ceux dont le pH de l'eau est supérieur à celui de l'eau de pluie normale et dont la couleur est foncée. La qualité de l'eau importe peu pour

Figure 8
Représentation semi-schématisée montrant comment l'acidité, la productivité biologique et le degré de réticulation de la végétation riveraine influent sur la sélection de l'habitat chez les oiseaux aquatiques du Québec méridional

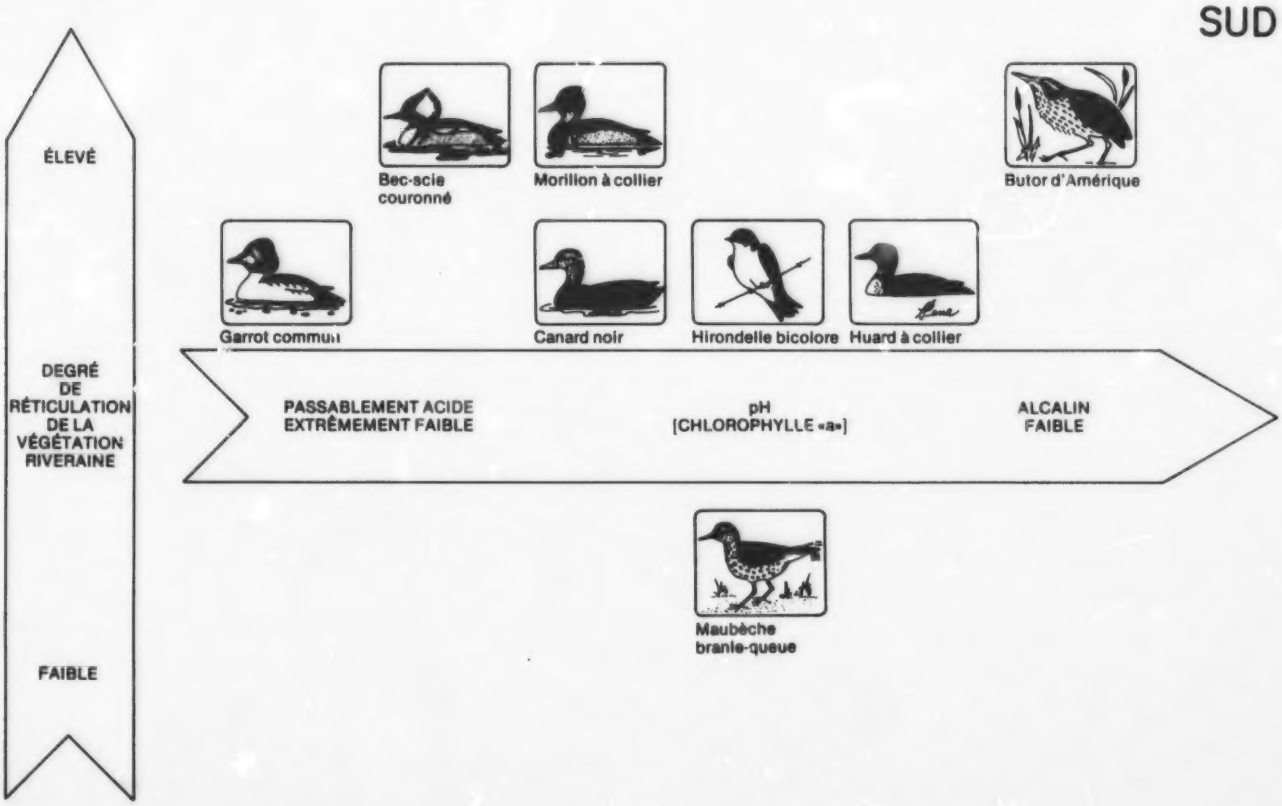
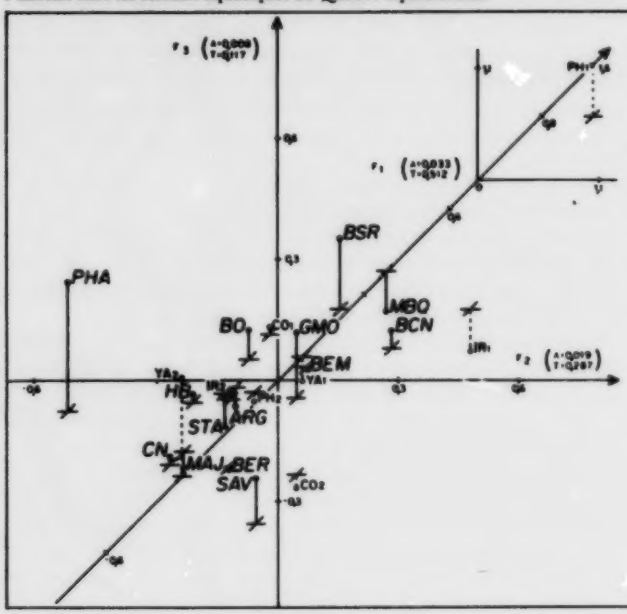


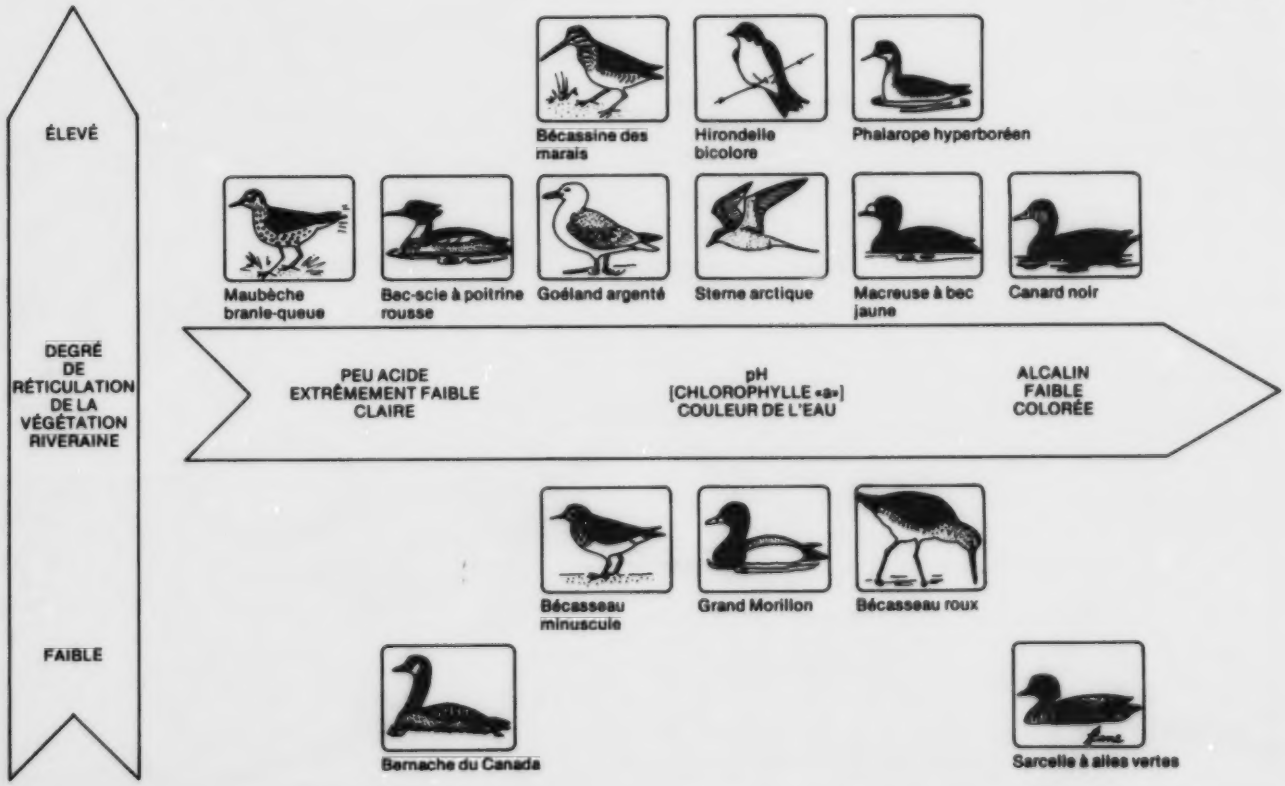
Figure 9
ANAFACOR montrant comment l'acidité, la productivité biologique et le degré de réticulation de la végétation riveraine influent sur la sélection de l'habitat chez les oiseaux aquatiques du Québec septentrional



ARG : Goéland argenté
BCN : Bernache du Canada
BEM : Bécasseau minuscule
BER : Bécasseau roux
BO : Bécassine des marais
BSR : Bec-scie à poitrine rousse
CN : Canard noir
GMO : Grand Morillon
HB : Hirondelle bicolore
MAJ : Macreuse à bec jaune
MBQ : Maubèche branle-queue
PHA : Phalarope hyperboréen
SAV : Sarcelle à ailes vertes
STA : Sterne arctique

Les codes relatifs aux caractéristiques des lacs sont expliqués à la figure 7.

Figure 10
Représentation semi-schématisée montrant comment l'acidité, la productivité biologique, la couleur de l'eau et le degré de réticulation de la végétation riveraine influent sur la sélection de l'habitat chez les oiseaux aquatiques du Québec septentrional



la Maubèche branle-queue pour autant que la végétation riveraine qui entoure les lacs soit peu développée. Quant à l'Hirondelle bicolore, elle fréquente tous les types de lacs utilisant peut-être davantage ceux dont l'eau est claire.

Dans le cas des lacs de la taïga, les trois premiers axes de l'ANAFACOR correspondent à 92 % de la variance totale (figure 9, annexe 8). Le pH excessivement faible (i.e. < 4) des lacs acides étudiés dans ce secteur de la province rend difficile l'interprétation de la figure 9. Cette caractéristique des lacs est très importante puisque les oiseaux aquatiques ont très majoritairement évité de fréquenter les lacs très acides de la taïga. Il faut donc examiner d'autres caractéristiques (moins distinctives) pour comprendre la façon dont les oiseaux aquatiques se sont partagé les lacs non acides de cette région. Sur le premier axe (51 % de la variance), il y a la productivité primaire et la couleur de l'eau auxquelles s'ajoute le degré de développement de la frange de végétation riveraine sur le deuxième axe (un autre 29 %). La figure 10 montre de façon semi-schématisée comment les oiseaux aquatiques du Québec septentrional se répartissent sur les lacs en fonction des deux principaux gradients révélés par cette analyse. La Sarcelle à ailes vertes, le Canard noir et la Macreuse à bec jaune fréquentent les lacs productifs à eau colorée de la taïga. Le Phalarope hyperboréen et l'Hirondelle bicolore utilisent, quant à eux, les lacs productifs à eaux claires. Les autres espèces se retrouvent majoritairement sur des lacs peu productifs. La Maubèche branle-queue, le Bec-scie à poitrine rousse, la Sterne arctique, le Goéland argenté et la Bécassine des marais choisissent ceux dont l'eau est claire et dont la bande de végétation riveraine est peu développée tandis que la Bernache du Canada et le Bécasseau minuscule préfèrent les lacs peu productifs à bande de végétation riveraine bien développée et bien réticulée. Alors que ces espèces fréquentant les lacs peu productifs ont été aperçues à de rares occasions sur les lacs acides, le Grand Morillon a évité complètement ce type de lacs. Selon Haapanen et Nilsson (1979), ce canard plongeur est plus abondant dans les régions de Suède où les lacs reposent sur une assise rocheuse basique.

5.3. Sélection des milieux humides par les oiseaux ripicoles

5.3.1. Effet des caractéristiques édaphiques et botaniques des berges

Tout comme à la section précédente, les matrices de départ pour le traitement statistique des données ont la forme de tableaux de contingence où sont indiqués les nombres d'individus de chacune des principales espèces d'oiseaux ripicoles (i.e. aperçues au moins dix fois dans l'un des deux secteurs d'étude) rencontrées dans des habitats possédant diverses caractéristiques édaphiques et botaniques (annexes 6 et 7). Les relations qui existent entre les caractéristiques édaphiques des sols, la physionomie des habitats et les types de groupements végétaux[1] sont examinées en détail dans une autre partie du présent ouvrage (Darveau *et al.*, présente publication). Bien que nous ayons étudié séparément (à l'aide d'ANAFACOR) la façon dont la nature des sols, la physionomie des habitats et les types de groupements végétaux influencent la distribution des oiseaux ripicoles, nous ne présenterons ici que des figures synthèses (figures 11 et 12). Nous préférons procéder ainsi puisque plusieurs des relations constatées au moment de ces analyses statistiques découlent des «liens étroits» existant entre les sols et les habitats préférentiels des différentes espèces d'oiseaux, liens abondamment discutés dans la partie précitée.

La nature et l'acidité des sols exercent une influence prédominante sur le paysage botanique des berges. Dans le sud de la province (figure 11), les sols organiques passablement minéralisés et acides sont généralement couverts de forêts tandis que les aulnaies occupent des sites moins acides. Les herbaçaies se trouvent habituellement sur des sols organiques passablement minéralisés, d'acidité intermédiaire (quoique parfois variée). Les sols organiques peu minéralisés sont généralement couverts de tachetaies arbustives lorsque ceux-ci sont très acides ou d'arbustaies lorsqu'ils le sont moins.

Les espèces d'oiseaux qui fréquentent le plus assidûment les différents habitats ripicoles du sud de la province sont également présentées à la figure 11. Le Tyran tritri, le Moucherolle des aulnes, la Fauvette à calotte noire et le Pinson chanteur ont fréquenté davantage les arbustaies sur sol à teneur minérale élevée et peu acide tandis que la Fauvette des ruisseaux, le Chardonneret des pins, le Merle d'Amérique et le Mainate bronzé ont préféré les arboraies (surtout les forêts mixtes adjacentes à des arbustaies) sur sol organique plus minéralisé et acide. Les plages graveleuses et les cariçaies sans mares sur sol organique minéralisé et moyennement acide ont été préférées par le Pluvier kildir et la Maubèche branle-queue. Les habitats particuliers aux sols à contenu élevé en matière organique ont été utilisés par d'autres espèces. Le Pinson des marais, la Fauvette masquée et le Carouge à épaulettes ont été observés le plus souvent dans des arbustaies basses sur sol organique moyennement acide (parfois bordées de quenouilles) tandis que le Pinson de Lincoln, le Mainate rouilleux et le Moucherolle à côtés olive ont fréquenté davantage les tachetaies à éricacées ou les arboraies à dominance de conifères sur sol organique très acide. Ces résultats concordent assez bien avec ce qu'a déjà publié Erskine (1977).

Les espèces qui fréquentent les habitats ripicoles du nord du Québec sont mentionnées à la figure 12. L'Alouette cornue, le Pipit commun, le Bruant lapon, la Maubèche branle-queue et le Pluvier à collier fréquentent de préférence les landes à lichens et les herbaçaies avec mares sur sol organique moyennement minéralisé et moyennement acide tandis que la Fauvette à couronne rousse, le Sizerin flammé, le Pinson à couronne blanche et le Pinson hudsonien ont surtout été observés dans des arbustaies ou des tachetaies à mélèze et épinette sur sol modérément acide, à teneur relativement élevée en éléments minéraux. D'autres espèces utilisent davantage les habitats propres aux sols riches en matière organique. Le Pinson des prés, le Phalarope hyperboréen, le Bécasseau roux, la Bécassine des marais et le Mainate rouilleux ont été observés le plus souvent dans des cariçaies avec mares sur sol organique peu acide tandis que la Fauvette des ruisseaux et le Bécasseau minuscule ont habituellement fréquenté des arbustaies clairsemées sur sol organique acide. Les tachetaies à épinette sur sol organique moyennement acide ont été préférées par le Merle d'Amérique et le Pinson de Lincoln.

[1] Pour les noms des groupements, on utilise habituellement les noms de genre et d'espèce pour chacune des deux espèces décrivant le groupement. Le nom de l'espèce peut être omis dans deux cas :

a) Le genre ne comprend qu'une espèce dans la région d'étude, espèce qu'on précise la première fois qu'on nomme le groupement dans le texte pour l'omettre par la suite;
Ex: Pessière noire à mélèze (s.-entendu : laricin)

b) Le genre comprend plusieurs espèces dans la région d'étude et l'on veut se référer à l'ensemble des espèces du genre dans la région. Le nom de genre de l'espèce sous-dominante prend alors la marque du pluriel.
Ex: Mélézin à sphaignes, unité à lichens

Figure 11
Représentation semi-schématisée montrant comment la teneur minérale et le niveau d'acidité des sols influent sur la physionomie des habitats riverains et influencent indirectement la sélection de l'habitat chez les oiseaux ripicoles du Québec méridional

A : Plage graveleuse
B : Herbaçaie
C : Arbustaie basse minérotrophe
D : Arboraie mixte
E : Unité tachetée à épinette
F : Arbustaie basse ombrotrophe
G : Quenouillaie
H : Arbustaie haute

1 : Pluvier kildir
2 : Maubèche branle-queue
3 : Merle d'Amérique
4 : Mainate bronzé
5 : Chardonneret des pins
6 : Fauvette des ruisseaux
7 : Moucherolle à côtés olive
8 : Mainate rouilleux
9 : Pinson de Lincoln
10 : Pinson des marais
11 : Fauvette masquée
12 : Carouge à épaulettes
13 : Tyran tritri
14 : Moucherolle des aulnes
15 : Fauvette à calotte noire
16 : Pinson chanteur

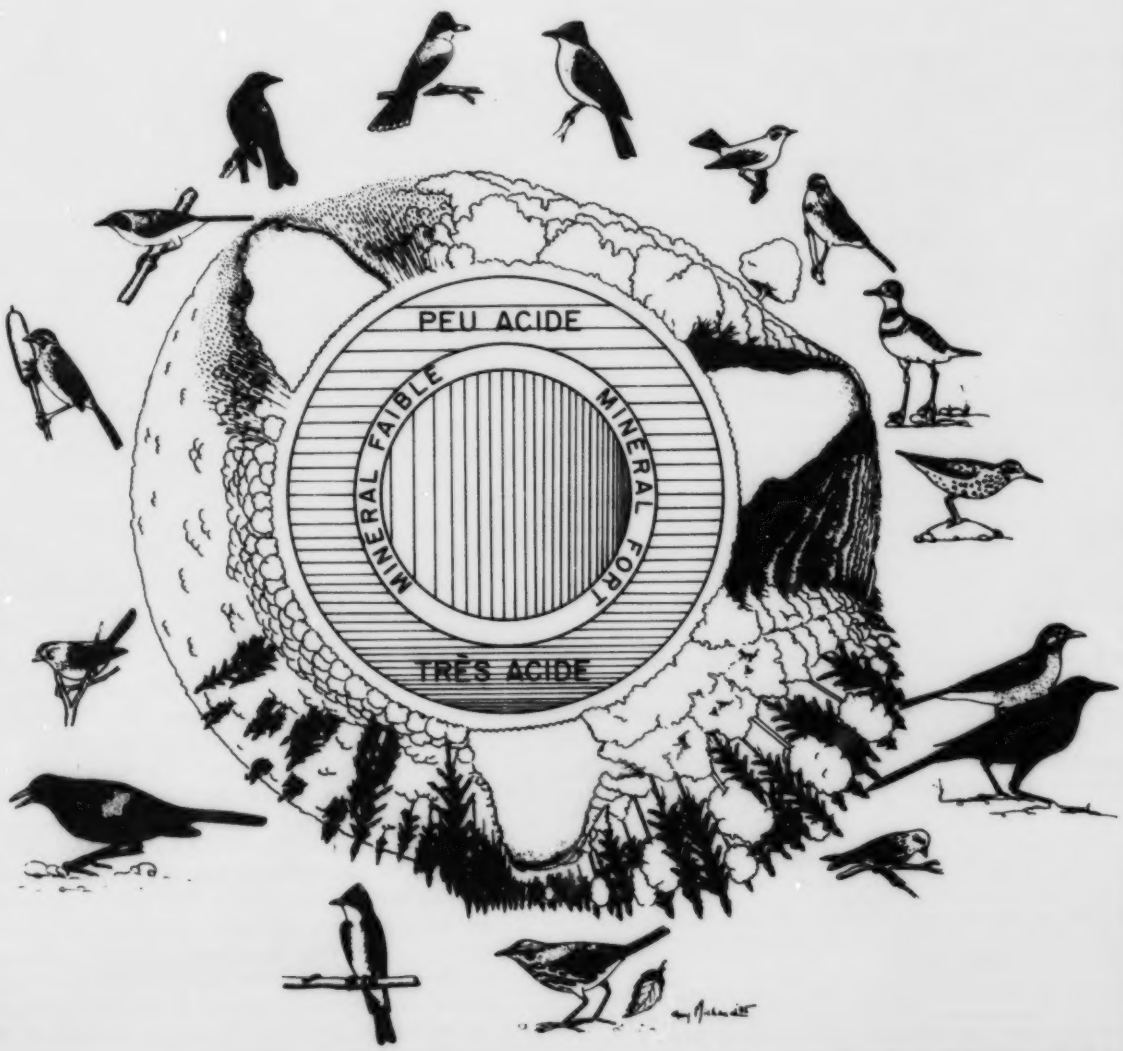
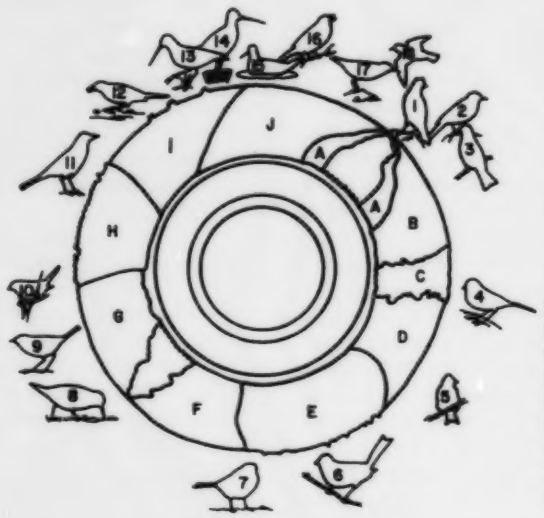


Figure 12
Représentation semi-schématisée montrant comment la teneur minérale et le niveau d'acidité des sols influent sur la physionomie des habitats riverains et influencent indirectement la sélection de l'habitat chez les oiseaux ripicoles du Québec septentrional

A : Lichenaie
B : Herbaçaie avec mares non réticulées
C : Arbustaie haute
D : Arbustaie basse
E : Arboraie à épinette noire et mélèze
F : Herbaçaie ombrotrophe
G : Unité tachetée à arbustes et épinette
H : Arboraie à épinette noire
I : Unité tachetée à herbes et épinette
J : Herbaçaie avec mares réticulées



1 : Alouette cornue
2 : Pipit commun
3 : Bruant lapon
4 : Fauvette à couronne rousse
5 : Sizerin flammé
6 : Pinson à couronne blanche
7 : Pinson hudsonien
8 : Bécasseau minuscule
9 : Fauvette des ruisseaux
10 : Pinson de Lincoln
11 : Merle d'Amérique
12 : Mainate rouilleux
13 : Bécassine des marais
14 : Bécasseau roux
15 : Phalarope hyperboréen
16 : Pinson des prés
17 : Maubèche branle-queue
18 : Pluvier à collier

5.3.2. Effet de l'acidité sur la sélection des habitats ripariens

Plusieurs études ont montré que c'est par l'intermédiaire de la physionomie végétale sur laquelle elle agit, que la composition spécifique de la végétation influence la composition des communautés aviennes (p.ex. Karr et Roth, 1971; Wiens, 1973; Rov, 1975; Nilsson, 1979; DesGranges, 1980). Cette constatation, faite dans des habitats terrestres pour la plupart, s'applique également aux milieux humides comme en font foi les résultats de cette étude. Les oiseaux ripicoles recherchent un type d'habitat physionomique particulier dont la présence à un certain endroit dépend à la fois de la nature du sol et de son degré d'acidité. Les ANAFACOR concernant l'effet des caractéristiques édaphiques des berges sur la distribution des oiseaux ripicoles ont donné les résultats suivants : dans le sud de la province, le premier axe, représentant en quelque sorte l'acidité des sols, correspond à 56 % de la variance totale, tandis que le deuxième axe, d'où provient un autre 33 %, montre l'influence de la teneur minérale des sols (annexe 9). Dans le nord de la province, le premier axe exprime le contenu minéral des sols (86 % de la variance totale) tandis que le deuxième axe, d'où est issu un autre 11 % de la variance, représente l'acidité des sols (annexe 9).

Le pH des milieux humides est habituellement acide (i.e. $< 5,0$). Cela est dû à la présence d'acides organiques, qui ne semblent pas influer outre mesure sur la majorité des espèces d'oiseaux ripicoles du Québec. Quelques espèces ont tout de même démontré une préférence pour les habitats propres aux sols peu acides, évitant très souvent de fréquenter des habitats dont la physionomie végétale aurait dû leur convenir mais dont le sol était particulièrement acide. Ce sont la Fauvette masquée dans le sud de la province ainsi que le Fauvette à couronne rousse et la Bécassine des marais dans le nord de la province (annexe 9).

6. Discussion

6.1. Structure des communautés

La présente étude met en évidence un gradient de remplacement des espèces et d'appauvrissement des communautés d'oiseaux lacustres depuis les petits lacs marécageux des Appalaches jusqu'aux milieux humides de la toundra arctique. Ce modèle de décroissance de la richesse spécifique suivant la progression en latitude est un phénomène déjà connu en ce qui a trait aux espèces d'oiseaux terrestres (Tramer, 1974; Short, 1979; McLaren et McLaren, 1981). Il n'a cependant jamais été établi clairement pour les espèces d'oiseaux lacustres. Cela tient probablement au fait que ce gradient est moins prononcé dans le cas de ces espèces qui fréquentent des milieux parmi les plus hétérogènes et les plus productifs des régions boréales.

Il y a lieu de souligner ici le fait que peu d'espèces aux mœurs généralistes peuvent vivre dans chacun des districts naturels. Aucune espèce n'a été observée régulièrement dans chacun des districts naturels et seuls le Canard noir, la Sarcelle à ailes vertes, la Bécassine des marais, la Maubèche branle-queue, le Merle d'Amérique, la Fauvette des ruisseaux, le Mainate rouilleux et le Pinson de Lincoln sont des éléments importants des communautés lacustres aussi bien dans le sud que dans le nord du Québec. Le fait que peu d'espèces modifient leurs habitats préférentiels pour s'accommoder de la disponibilité différentielle des divers types de milieux humides dans chacun des districts naturels nous fait penser que ces milieux, à la fois riches et relativement stables en période estivale, ont dû permettre à un grand nombre d'espèces spécialisées quant à l'habitat de s'insérer (*«species packing»*) à l'intérieur des communautés lacustres (Levins, 1968; Cody, 1974; Rotenberry, 1978). Chacune a développé au cours de l'évolution une morphologie et un comportement alimentaire distincts qui en font un spécialiste pour la capture de certaines proies dans quelques habitats particuliers, la mettant en quelque sorte à l'abri de la compétition avec les autres espèces d'oiseaux qui fréquentent des milieux semblables dans d'autres districts naturels du Québec (Terborgh, 1971; Able et Noon, 1976; Noon *et al.*, 1980).

6.2. Sélection des lacs par les oiseaux aquatiques

Grâce à l'analyse factorielle des correspondances, nous avons pu faire plusieurs ordinations des espèces d'oiseaux selon les principaux facteurs environnementaux susceptibles d'influer sur leur choix d'un habitat de nidification. Il ressort de ces analyses que le niveau de production des lacs (basé sur la chlorophylle «a») ainsi que le degré de réticulation (*sensu* Darveau *et al.*, présente publication) de la bande de végétation riveraine sont les deux facteurs qui revêtent le plus d'importance dans le partage des habitats entre les diverses espèces d'oiseaux aquatiques. D'un côté, il y a les espèces qui fréquentent de préférence les lacs productifs généralement bien entourés de végétation riveraine. Ce sont surtout des échassiers (p.ex. le Butor d'Amérique) et des canards barboteurs (p.ex. le Canard noir et la Sarcelle à ailes vertes). Ce type de lacs est habituellement pourvu d'une importante zone littorale peu profonde qui permet à la lumière d'atteindre le fond du lac à plusieurs endroits. Ceci favorise la croissance des plantes lacustres et permet le développement d'une abondante faune aquatique, ces lacs ayant en leur faveur un pH généralement proche de la neutralité (Moyle, 1961; Patterson, 1976; Joyner, 1980). Dans ces lacs à alcalinité élevée, la métamorphose de plusieurs types d'insectes émergents se fait habituellement mieux (Bell, 1971), de sorte que l'abondance des adultes reproducteurs à proximité de ces étendues d'eau garantit le maintien de bonnes populations de larves d'insectes aquatiques, très souvent en dépit de la prédation par les poissons (Moyle, 1961, DesGranges et Brodeur, 1985). À l'instar d'autres chercheurs, nous constatons néanmoins que le pH habituellement élevé de ces lacs n'est pas une caractéristique requise par les espèces qui fréquentent ce type de lacs. En effet, il arrive parfois qu'une concentration élevée d'éléments fertilisants, tel le phosphore, dans un lac acide peu profond contribue à en accroître la fréquentation par les canards barboteurs (Nilsson et Nilsson, 1978; Kerekes *et al.*, 1984; Murphy *et al.*, 1984), d'où il ressort que la productivité biologique (voir également Hilden, 1964 ainsi que DesGranges et Hunter, 1987) et l'accessibilité de la nourriture (voir également Danell et Sjoberg, 1978) sont bien plus importantes que le pH dans le choix d'un lac par ce groupe d'oiseaux.

D'autres espèces se retrouvent souvent sur des lacs dont le niveau de production est faible. Ces lacs sont habituellement très acides de sorte que la décomposition de la matière organique et le recyclage des éléments nutritifs par les bactéries s'y font moins rapidement (Haines, 1981). Parmi ces espèces d'oiseaux, on compte notamment plusieurs canards plongeurs. Il y a d'une part le Garrot commun et le Bec-scie à poitrine rousse qui ont été observés principalement sur des lacs dont la végétation riveraine est peu développée et, d'autre part le Morillon à collier et le

Bec-scie couronné qui ont surtout été aperçus sur des lacs présentant une large bande de végétation riveraine bien réticulée. Il arrive souvent que les lacs contiennent peu ou pas de poissons (IEC Beak, 1985; Frenette, 1986; McNicol *et al.*, 1987). Aussi, bien que les invertébrés aquatiques soient souvent moins nombreux dans les lacs acides (Raddum, 1980; Collins *et al.*, 1981), les canards, n'ayant pas à partager leur nourriture avec un trop grand nombre de poissons (Pehrsson, 1974, 1979, 1984; Eriksson, 1979, 1983; Eadie et Keast, 1982; DesGranges et Darveau, 1985; DesGranges et Brodeur, 1985; DesGranges et Rodrigue, 1986; Hunter *et al.*, 1986; DesGranges et Hunter, 1987; McNicol *et al.*, 1987), y trouvent donc suffisamment d'invertébrés aquatiques pour y élever leur nichée. Cette pénurie de poissons dans les lacs acides, bien qu'elle favorise certains canards plongeurs, n'est pas sans nuire aux espèces franchement piscivores. C'est le cas du Huard à collier qui fréquente presque exclusivement les lacs poissonneux (Silieff et Hussell, 1982; Eriksson, 1985; McNicol *et al.*, 1987; la présente étude).

La couleur de l'eau est également un facteur important dans le choix d'un lac par les oiseaux aquatiques (Hilden, 1964). Ainsi avons-nous constaté que le Huard à collier, le Bec-scie à poitrine rousse et le Bec-scie couronné fréquentent de préférence les lacs à eaux claires. Tout comme Eriksson (1985), nous croyons que ces espèces repèrent la plupart de leurs proies en nageant les yeux ouverts sous l'eau de sorte qu'elles préfèrent sans doute explorer des lacs où la transparence de l'eau est grande, augmentant ainsi leur chance d'apercevoir leur nourriture. Le Goéland argenté, la Sterne arctique et l'Hirondelle bicolore ont également préféré les lacs à eaux claires, probablement parce qu'ils doivent repérer leur nourriture du haut des airs avant de s'élancer pour s'en saisir à la surface ou légèrement sous la surface de l'eau. Le fait que les espèces qui nagent entre deux eaux ont accordé peu d'importance à l'acidité des lacs tandis que celles qui plongent du haut des airs ont habituellement évité les lacs acides tend à confirmer le modèle mis au point par Eriksson (1985). Il semble en effet que la plus grande transparence de certains lacs acides permet aux oiseaux nageurs de poursuivre leurs proies à plus grande profondeur, compensant ainsi pour la densité plus faible d'organismes aquatiques (surtout les poissons) dans les lacs acides. Les oiseaux qui plongent du haut des airs ne peuvent pas augmenter sensiblement la profondeur de leur plongée de sorte qu'ils ne tirent aucun profit de la transparence de certains lacs acides.

6.3. Sélection des milieux humides par les oiseaux ripicoles

Tout comme chez les oiseaux forestiers, la composition des communautés d'oiseaux ripicoles dépend principalement de la physionomie végétale des habitats (Stauffer et Best, 1980; Ewert, 1982; Rice *et al.*, 1983; Swift *et al.*, 1984; la présente étude). Dans quelques cas, certaines espèces végétales semblent exercer une influence notable. Cela tient probablement au fait que ces espèces possèdent une allure distinctive qui confère à l'habitat une structure bien caractéristique. La présence à un certain endroit d'un type d'habitat riparien particulier est fonction principalement de la nature du sol (i.e. teneur minérale), de son degré d'acidité et du régime des eaux non considéré dans la présente étude (Jeglum, 1973). Comme il existe plusieurs grandes classifications des milieux humides au Canada (Zoltai *et al.*, 1975; Grondin et Ouzilleau, 1980; Tarnocai, 1980) et qu'il nous était souvent difficile de catégoriser les parcelles d'habitats dans lesquelles nous comptions les oiseaux, nous avons préféré mesurer directement les principaux paramètres distinctifs et laisser les oiseaux faire (i.e. à l'aide de la statistique) leur propre «partage» des milieux humides.

Dans les deux régions de l'étude, les oiseaux ripicoles ont fréquenté en variétés sensiblement égales les habitats caractéristiques des sols plus ou moins minéralisés et plus ou moins acides (i.e. les tourbières, les fondrières, les marais et les boisés ripariens). L'absence d'arboraies sur les sols organiques peu minéralisés dans le sud de la province est tout de même responsable d'une légère diminution de la richesse spécifique dans ce genre de situation (voir la figure 11 ainsi qu'Erskine, 1977). Bien que nous assistions à un remplacement régulier des espèces en fonction de la structure de la végétation, il ne semble pas y avoir de familles d'oiseaux qui soient mieux représentées sur un type de sol particulier. Les limicoles (Charadriidés et Scolopacidés), les moucherolles (Tyrannidés), les fauvettes, les mainates et les pinsons (Embérizidés) constituent les principaux groupes d'oiseaux et on en trouve des représentants dans la plupart des milieux humides, indépendamment du contenu en matière minérale et de l'acidité des sols. L'hétérogénéité des habitats et leur grande productivité en été sont probablement à l'origine de cette cohabitation d'un grand nombre d'espèces et de familles d'oiseaux dans des écosystèmes qui occupent malgré tout des superficies assez restreintes à l'échelle des lacs comme tels et du continent dans son ensemble.

6.4. Conséquences probables des précipitations acides

Il ne fait plus aucun doute que l'acidification des milieux humides entraîne des modifications considérables au sein des biocénoses lacustres. Que l'acidité soit d'origine naturelle ou qu'elle provienne des précipitations acides, les résultats sont sensiblement les mêmes (IEC Beak, 1985). L'acidification des lacs nuit à la reproduction de plusieurs espèces de poissons, dont l'Omble de fontaine *Salvelinus fontinalis*, principal et souvent unique occupant des lacs laurentiens (Moreau *et al.*, 1984; Richard, 1985) et provoque de nombreux changements dans l'ensemble des organismes aquatiques. Ces modifications sont dues quelquefois aux effets toxiques de l'acidité, i.e. libération de métaux lourds toxiques (Wright *et al.*, 1976). Cela semble être le cas de plusieurs espèces planctoniques, des gastéropodes, des éphémères et de nombreuses espèces de poissons (IEC Beak, 1985). Plus souvent encore, les changements découlent de l'élimination progressive des prédateurs ichtyens, ce qui amorce une transformation majeure de la structure de la chaîne alimentaire (IEC Beak, 1985). L'augmentation des populations d'insectes nageurs actifs et des insectes émergents en est sans contredit la manifestation la plus spectaculaire (DesGranges, 1985; IEC Beak, 1985). En modifiant la disponibilité de la nourriture (poissons et invertébrés aquatiques) des oiseaux aquatiques, les pluies acides peuvent donc entraîner des changements importants dans la répartition de leurs populations.

La diminution du nombre de petits poissons dans les lacs acides (Frenette, 1986; McNicol *et al.*, 1987) contribue à les rendre moins attrayants pour les oiseaux piscivores tels le Huard à collier, le Grand Bec-scie, le Bec-scie à poitrine rousse et les échassiers (Silieff et Hussel, 1982; DesGranges et Darveau, 1985; McNicol *et al.*, 1987; la présente étude). Au cours du mois qui suit la naissance de leurs jeunes, les parents doivent trouver suffisamment de poissons pour nourrir leur progéniture et subvenir à leurs

propres besoins. On imagine bien que ces espèces puissent difficilement nicher sur les lacs trop acides puisque la plupart des espèces de poissons dont elles se nourrissent éprouvent de la difficulté à se reproduire et disparaissent éventuellement lorsque l'eau devient trop acide.

Apparemment, l'acidification des lacs contribue également (jusqu'à pH 5 à tout le moins) à ralentir la décomposition de la matière organique et le recyclage des éléments nutritifs par les bactéries (Haines, 1981). Cela aurait pour effet de rendre les lacs moins productifs de sorte que les poissons qui les peuplent y exercent un contrôle de plus en plus serré des populations d'insectes aquatiques (DesGranges, 1985). Plusieurs espèces de canards sont alors privés de nourriture puisque ceux-ci consomment à peu de chose près les mêmes proies que les poissons (Hunter *et al.*, 1986). Comme ces derniers se reproduisent mal dans les lacs acides, ils viennent à disparaître quand l'acidité devient excessive (IEC Beak, 1985). À ce moment-là, certains canards plongeurs (comme le Garrot commun, le Bec-scie couronné et le Morillon à collier) peuvent profiter pour un certain temps de la situation (Eriksson, 1984; Pehrsson, 1984; DesGranges et Darveau, 1985; DesGranges et Brodeur, 1985; DesGranges et Rodrigue, 1986; Hunter *et al.*, 1986; DesGranges et Hunter, 1987; McNicol *et al.*, 1987), jusqu'à ce que l'acidité réduise de façon trop marquée la biomasse des insectes aquatiques. Voilà que la plupart des lacs acidifiés par les pluies acides montrent déjà des signes d'affaiblissement de leurs populations de poissons sans toutefois être parvenus au stade où ceux-ci ont complètement disparu (Moreau *et al.*, 1984; Richard, 1985). Ces lacs ne conviennent donc pas plus aux canards qu'aux poissons (DesGranges et Hunter, 1987), ce qui démontre à quel point les précipitations acides sont dommageables à l'ensemble des organismes qui habitent les lacs du Bouclier canadien.

Les effets des précipitations acides sur les milieux humides sont encore méconnus. Dernièrement, des chercheurs ont constaté que ces précipitations peuvent modifier la structure de certains habitats marécageux (Gorham *et al.*, 1984). Ceci pourrait vraisemblablement influer sur la faune qui utilise ces milieux. La recherche en ce domaine ne fait que commencer. En ce qui a trait aux oiseaux, notre étude des relations entre l'acidité des milieux humides et la distribution des oiseaux ripicoles constitue une première. Elle indique que la majorité des espèces d'oiseaux ripicoles ne semblent pas être autrement touchées par l'acidité (d'origine organique) habituellement élevée de ces milieux (i.e. pH < 5). Pour la plupart d'entre elles, la physionomie de l'habitat compte bien plus que le niveau d'acidité du sol qui le sous-tend. Néanmoins, si ces milieux devaient s'acidifier davantage par suite de dépôts acides d'origine atmosphérique, cela pourrait avoir des répercussions sur les espèces qui préfèrent les habitats propres aux sols peu acides.

Annexes

Annexe 1
Méthodes analytiques employées pour l'étude de la qualité de l'eau et des sols riverains des lacs de l'étude

Qualité de l'eau	
Paramètres	**Méthodes analytiques**
pH	Électrométrie
Conductivité	Conductivimètre de type radiomètre
Transparence	Disque de Secchi
Turbidité	Néphélémétrie
Alcalinité	Titration Gran
Acides forts, Cl	Filtration conductivimétrique
Ca, Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, K, Na, Mg, Al	Absorption atomique
SO_4, F, SiO_2, NH_4, NO_3 + NO_2, NK, CN, Pt, tanins et lignine, couleur vraie	Dosage colorimétrique
CT, Ci	Combustion et infrarouge
Température, O_2	Hydrolab
Résidus filtrables	Méthode de calcul
Chlorophylle «a»	Spectrophotométrie
Seston	Filtration, séchage, pesage
Qualité des sols riverains	
Paramètres	**Méthodes analytiques**
pH	Électrométrie (dans l'eau 1:2)
Carbone organique	Combustion
Azote Kjeldahl	Dosage colorimétrique
Ca, K, Mg	Absorption atomique

Note : Tous les échantillons ont été récoltés de la mi-juillet à la fin d'août en 1980, 1981 et 1982.

Annexe 2

Liste[a] des espèces d'oiseaux considérées dans la présente étude. Le principal type de milieu fréquenté par chacune des espèces est également indiqué

Code	Espèces	Principal milieu fréquenté[b]
ALO	Alouette cornue	R
ARG	Goéland argenté	A
BAI	Fauvette à poitrine baie	C
BCN	Bernache du Canada	A
BEM	Bécasseau minuscule	R
BER	Bécasseau roux	R
BGN	Fauvette bleue à gorge noire	F
BO	Bécassine des marais	R
BOI	Grive des bois	F
BRU	Bruant lapon	R
BSC	Bec-scie couronné	A
BSR	Bec-scie à poitrine rousse	A
BUT	Butor d'Amérique	A
CAL	Fauvette à calotte noire	R
CAN	Fauvette du Canada	E
CAR	Carouge à épaulettes	R
CEN	Fauvette à tête cendrée	E
CGR	Colibri à gorge rubis	R
CHA	Chardonneret des pins	R
CHE	Pic chevelu	E
CN	Canard noir	A
COB	Pinson à couronne blanche	R
COL	Pluvier à collier	R
COU	Fauvette couronnée	F
CRO	Fauvette à croupion jaune	E
DOR	Pic flamboyant	E
FA	Pinson fauve	C
FAU	Grive fauve	F
FLA	Fauvette flamboyante	E
FM	Fauvette à flancs marron	E
GAC	Garrot commun	A
GB	Geai bleu	E
GBP	Gros-bec des pins	E
GEL	Gélinotte huppée	E
GER	Gros-bec errant	E
GG	Geai gris	E
GMO	Grand Morillon	A
GOB	Pinson à gorge blanche	E
GPR	Gros-bec à poitrine rose	F
GRB	Grand Bec-scie	A
HB	Hirondelle bicolore	A
HG	Hirondelle des granges	A
HUA	Huard à collier	A
HUD	Pinson hudsonien	R
JAU	Fauvette jaune	F
JC	Jaseur des cèdres	E
JOG	Grive à joues grises	C
JOU	Fauvette à joues grises	E
JUN	Junco ardoisé	E
KIL	Pluvier kildir	R
LIN	Pinson de Lincoln	R
M	Merle d'Amérique	M
MAC	Pic maculé	E
MAI	Mainate bronzé	R
MAJ	Macreuse à bec jaune	A
MAR	Pinson des marais	R
MAS	Fauvette masquée	R
MAU	Moucherolle des aulnes	R
MBQ	Maubèche branle-queue	R
MOC	Morillon à collier	A
MOL	Moucherolle à côtés olive	R
MOU	Moucherolle huppé	F
MP	Martin-pêcheur d'Amérique	A
MRO	Mainate rouilleux	R
MTB	Mésange à tête brune	E
MTN	Mésange à tête noire	E
MVJ	Moucherolle à ventre jaune	E
NB	Fauvette noir et blanc	F
OBS	Fauvette obscure	C
OLI	Grive à dos olive	E
ORA	Fauvette à gorge orangée	E
PAR	Fauvette parula	E
PCT	Pinson chanteur	R
PEC	Aigle-pêcheur	A
PHA	Phalarope hyperboréen	R
PI	Pioui de l'Est	F
PIC	Grand Pic	E
PIP	Pipit commun	R
POU	Roselin pourpré	E
PRE	Pinson des prés	R
RAM	Martinet ramoneur	A
RAY	Fauvette rayée	C
ROD	Roitelet à couronne dorée	C
ROU	Fauvette à couronne rousse	R
RUB	Roitelet à couronne rubis	E
RUI	Fauvette des ruisseaux	R
SAV	Sarcelle à ailes vertes	A
SIZ	Sizerin flammé	R
SOL	Grive solitaire	E
SPR	Sittelle à poitrine rousse	E
STA	Sterne arctique	A
TAN	Tangara écarlate	F
TCH	Moucherolle tchébec	F
TFO	Troglodyte des forêts	E
TIG	Fauvette tigrée	E
TRI	Fauvette triste	F
TYR	Tyran tritri	R
VAL	Chevalier solitaire	R
VB	Viréo à tête bleue	E
VGN	Fauvette verte à gorge noire	E
VP	Viréo de Philadelphie	E
VR	Viréo aux yeux rouges	E

[a]L'ordre de présentation suit l'ordre alphabétique des codes utilisés dans les figures et les tableaux.

[b]L'analyse factorielle des correspondances a permis de regrouper les espèces en cinq groupes principaux selon qu'elles fréquentaient principalement les milieux aquatiques (A), les habitats ripariens (R), les forêts feuillues (F), les forêts de conifères (C) ou les milieux d'écotone (E) ou de transition.

Annexe 3
Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses fréquentés par les oiseaux aquatiques du sud du Québec

Types de variables et description	Nombre de lacs visités (n = 78)	Code avant rationalisation	Espèces																Code après rationalisation
			BO	BSC	BUT	CN	GAC	GRB	HB	HG	HUA	KIL	MBQ	MOC	MP	PEC	RAM	SAV	VAL	
Variables régionales																				
Zone écologique																				
Boréale	11	ZEa	18	27	18	82	45	18	99	63	55	27	73	27	27	55	27	45	36	
Tempérée froide	67	ZEb	9	21	19	36	37	13	63	9	34	10	36	49	12	4	27	7	3	
Sous-zone																				
Boréale	11	SZd	18	27	18	82	45	18	99	64	55	27	73	27	27	55	27	45	36	
Transition humide	16	SZe	0	13	13	31	38	19	50	0	25	13	44	56	6	0	13	0	6	
Médiane humide	23	SZf	0	26	17	39	52	17	70	9	35	9	30	52	17	4	30	0	4	
Médiane inférieure humide	7	SZg	57	0	57	71	14	0	86	57	43	14	43	86	29	14	43	43	0	
Inférieure humide	21	SZh	10	29	14	24	29	10	57	0	38	10	33	29	5	5	29	10	0	
Écorégion																				
Hautes-Laurentides	10	ERc	20	30	10	90	50	20	99	60	60	20	80	30	20	60	30	50	40	
Baskatong	16	ERd	0	13	13	31	38	19	50	0	25	13	44	56	6	0	13	0	6	
Moyennes-Laurentides	23	ERe	0	26	17	39	52	17	70	9	35	9	30	52	17	4	30	0	4	
Appalaches	8	ERf	50	0	63	63	13	0	88	63	38	25	38	75	38	13	38	38	0	
Outaouais	21	ERg	10	29	14	24	29	10	57	0	38	10	33	29	5	5	29	10	0	
Paysage écologique																				
Forêt de conifères	30	PEe	17	23	17	53	37	7	60	27	40	10	57	53	13	23	23	23	17	
Anneau de conifères puis feuillus	20	PEf	10	15	25	40	35	20	90	15	55	0	25	40	10	5	35	0	5	
Forêt mixte	21	PEg	5	29	10	33	52	24	62	10	24	33	43	48	24	5	14	10	0	
Forêt feuillue	7	PEh	0	14	43	29	14	0	57	0	14	0	14	29	0	0	57	14	0	
Altitude																				
Moyenne (200–450 m)	59	ATa	7	24	20	39	39	15	63	12	37	14	36	47	10	7	32	7	2	
Élevée (451–900 m)	19	ATb	21	16	16	53	37	11	84	32	37	11	58	42	26	26	11	32	26	
Sensibilité à l'acidification (selon Shilts, 1981)																				
Moyenne	17	SAa	29	12	41	41	12	0	76	29	47	12	35	53	24	6	47	12	0	
Élevée	61	SAb	5	25	13	43	46	18	66	13	34	13	43	44	11	13	21	13	10	
Variables morphométriques																				
Superficie																				
Très faible (5–15 ha)	42	SUa	7	21	24	40	38	10	55	14	29	10	31	55	10	2	24	10	5	SU1
Faible (16–40 ha)	36	SUb	14	22	14	44	39	19	83	19	47	17	53	36	19	22	31	17	11	SU2
Profondeur maximale																				
Très faible (≤ 2 m)	33	PXa	12	12	24	45	27	12	70	24	27	15	42	45	15	9	30	12	0	PX1
Faible à moyenne (3–22 m)	45	PXb	9	29	16	40	47	16	67	11	44	11	40	47	13	13	24	13	13	PX2
Pente de la berge																				
Faible	28	BNa	4	18	14	39	43	14	61	7	25	14	46	43	7	4	29	0	4	
Modérée	30	BNb	3	23	17	30	37	20	57	7	33	10	37	37	13	3	17	7	3	
Îlots																				
Absence	62	ILa	13	24	21	44	35	16	73	21	44	15	39	45	11	15	29	15	8	
Présence	16	ILb	0	13	13	38	50	6	50	0	13	6	50	50	25	0	19	6	6	
Indice de développement du rivage																				
Forme circulaire (1,0–1,3)	23	IDa	22	9	22	39	17	0	65	30	52	13	49	43	17	22	22	22	17	
Forme semi-circulaire (1,4–3,0)	55	IDb	5	27	18	44	47	20	69	11	31	13	38	47	13	7	29	9	4	
Indice de réticulation du rivage																				
Faible	20	IRa	5	5	5	35	50	20	55	15	30	10	55	35	15	0	20	0	0	IR1
Moyen	40	IRb	8	49	23	38	40	15	80	20	40	13	38	45	15	20	30	13	15	IR1
Élevé	18	IRc	22	22	28	61	22	6	56	11	39	17	33	61	11	6	28	28	0	IR2

Annexe 3 (suite)
Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses fréquentés par les oiseaux aquatiques du sud du Québec

Types de variables et description	Nombre de lacs visités (n = 78)	Code avant rationalisation	Espèces																Code après rationalisation
			BO	BSC	BUT	CN	GAC	GRB	HB	HG	HUA	KIL	MBQ	MOC	MP	PEC	RAM	SAV	VAL	
Variables physico-chimiques																				
Couleur																				
Eau claire (1-20 Hazen)	31	COa	3	26	19	32	48	19	77	6	42	16	45	42	19	10	29	13	3	CO1
Eau colorée (21-40 Hazen)	30	COb	17	20	17	57	33	13	67	27	37	3	33	43	10	10	33	13	13	CO2
Eau foncée (41-100 Hazen)	17	COc	12	18	24	35	29	6	53	18	29	24	47	59	12	18	12	12	6	CO2
Turbidité																				
Faible (< 1,0 Jackson)	30	TUa	13	33	10	53	50	20	77	17	47	13	57	47	13	23	10	20	13	
Modérée (1,0-1,9 Jackson)	39	TUb	5	15	28	31	28	10	64	13	36	8	26	46	13	3	38	5	5	
Élevée (2,0-3,3 Jackson)	9	TUc	22	11	11	56	44	11	56	33	11	33	56	44	22	11	33	22	0	
pH été																				
Passablement acide (4,4-5,0)	10	PHa	0	20	0	60	60	10	60	10	20	10	10	60	0	0	10	0	10	PH1
Moyennement acide (5,1-5,5)	10	PHb	10	50	10	10	80	30	80	20	50	40	60	70	30	30	30	20	0	PH1
Peu acide (5,6-6,9)	47	PHc	11	19	23	47	34	15	66	17	38	9	47	40	15	11	21	13	11	PH2
Alcalin (7,0-8,5)	11	PHd	18	9	27	36	0	0	73	18	36	9	27	36	9	9	64	18	0	PH2
Alcalinité																				
Très peu tamponnée (0-3 mg $CaCO_3$/L)	38	ACa	3	18	11	34	50	21	50	3	29	13	39	47	8	3	13	3	5	AC1
Peu tamponnée (4-10 mg $CaCO_3$/L)	15	ACb	13	13	13	40	27	0	80	20	40	7	60	33	13	13	13	27	13	AC1
Bien tamponnée (11-35 mg $CaCO_3$/L)	14	ACc	21	36	29	50	29	14	79	36	43	14	29	50	14	36	36	21	7	AC2
Très bien tamponnée (36-95 mg $CaCO_3$/L)	11	ACd	18	27	45	64	27	9	99	36	55	18	36	55	36	9	82	18	9	AC3
Conductivité																				
Faible (8-25 µS/cm)	47	CDa	13	21	17	40	45	17	66	19	36	15	47	51	13	13	17	15	11	
Modérée à élevée (26-200 µS/cm)	37	CDb	6	23	23	45	29	10	71	13	39	10	32	39	16	10	42	10	3	
Indice de saturation calcique																				
Très bien tamponné (0-3,0)	19	ISa	21	16	42	42	11	5	79	32	37	16	32	42	26	11	58	16	5	
Modérément tamponné (3,1-5,1)	37	ISb	8	27	14	41	41	14	73	16	43	5	49	38	8	16	22	16	11	
Peu tamponné (5,2-6,6)	22	ISc	5	18	9	45	59	23	22	5	27	23	36	64	14	5	9	5	5	
Tanins et lignine																				
Faible à modérée (0,2-1,0 mg/L)	29	TLa	0	21	17	28	45	17	79	7	45	14	45	41	21	10	34	7	3	
Modérée à élevée (1,1-3,6 mg/L)	49	TLb	16	22	20	51	35	12	61	22	33	12	39	49	10	12	22	16	10	
Sulfates																				
Faible (2,0-3,5 mg SO_4/L)	14	SFb	29	21	36	71	36	7	86	36	50	7	50	57	14	36	21	36	21	SF1
Élevée (3,5-8,0 mg SO_4/L)	64	SFc	6	22	16	36	39	16	64	13	34	14	39	44	14	6	28	8	5	SF2
Aluminium																				
Faible (0,02-0,05 mg/L)	25	ALa	8	20	32	24	16	4	68	8	36	4	32	40	12	8	44	8	4	AL1
Modérée (0,06-0,10 mg/L)	28	ALb	11	21	18	57	43	25	68	18	43	14	50	36	18	7	21	11	4	AL2
Élevée (0,11-0,5 mg/L)	25	ALc	12	24	8	44	56	12	68	24	32	20	40	64	12	20	16	2	16	AL3
Rapport C/N (organique)																				
Très faible (8,0-30,0)	28	CNa	11	14	21	43	36	14	68	21	36	11	39	43	18	11	25	18	4	
Faible (30,1-39,9)	24	CNb	13	29	25	46	29	8	63	13	38	17	33	50	8	8	29	13	4	
Modéré à élevé (40,0-135,0)	26	CNc	8	23	12	38	50	19	73	15	38	12	50	46	15	15	27	8	15	

Annexe 5 (suite)
Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses fréquentés par les oiseaux aquatiques du sud du Québec

Types de variables et description	Nombre de lacs visités (n = 78)	Code avant rationalisation	Espèces																	Code après rationalisation
			BO	BSC	BUT	CN	GAC	GRB	HB	HG	HUA	KIL	MBQ	MOC	MP	PEC	RAM	SAV	VAL	
Variables biologiques																				
Chlorophylle «a»																				
Extrêmement faible (0,3–1,0 mg/m³)	12	YAa	17	33	8	58	42	25	99	33	58	42	67	33	25	50	8	42	25	YA1
Très faible (1,1–2,0 mg/m³)	25	YAb	4	24	8	44	56	20	72	12	20	8	40	56	12	4	16	8	8	YA1
Faible (2,1–11,5 mg/m³)	37	YAc	14	11	30	38	24	8	57	14	35	8	41	41	14	3	32	8	3	YA2
Poids sec de seston																				
Oligotrophe (7–50 mg/m³)	32	SEa	9	25	13	41	44	22	72	9	38	13	41	47	16	13	16	13	16	SE1
Mésotrophe (51–175 mg/m³)	11	SEb	9	27	9	45	27	9	55	18	27	0	36	18	0	9	18	9	9	SE2
Eutrophe (176–1 400 mg/m³)	15	SEc	7	7	40	60	33	7	60	13	40	7	47	67	0	7	33	13	0	SE2
Phosphore total																				
Oligotrophe (0,005–0,01 mg/L)	32	PTa	19	19	22	50	44	19	84	25	47	19	41	50	22	19	34	16	6	
Méso-eutrophe (0,011–0,04 mg/L)	46	PTb	4	24	17	37	35	11	57	11	30	9	41	43	9	7	22	11	9	
Anoxie hivernale																				
Absente	24	AHa	8	25	13	38	42	17	75	13	50	8	33	38	17	21	33	13	17	
Possible	14	AHb	0	29	14	36	43	7	71	0	29	0	36	50	0	0	36	0	7	
Courbe d'oxygène																				
Sans stratification	44	OXa	14	18	23	39	32	14	66	23	30	14	39	50	14	9	32	14	2	OX1
Clinograde moyenne	14	OXb	7	29	14	64	57	7	86	14	57	14	36	43	14	29	36	21	21	OX1
Clinograde forte	20	OXc	5	25	15	35	40	20	60	5	40	10	50	40	15	5	10	5	10	OX2
Calcium																				
Très faible (1,0–1,4 mg/L)	13	CEa	15	23	0	62	69	8	69	23	38	23	31	69	0	15	8	31	15	
Faible (1,5–2,9 mg/L)	46	CEb	7	24	20	39	46	20	67	15	37	11	52	46	17	13	24	4	9	
Moyenne à élevée (3,0–30,0 mg/L)	19	CEc	16	16	32	37	0	5	68	16	37	11	21	32	16	5	47	21	0	
Toxicité																				
Pas de problème	58	TXa	10	17	22	41	33	9	67	17	41	9	38	45	14	10	28	14	7	
Problèmes possibles	20	TXb	10	35	10	45	55	30	70	15	25	25	50	50	15	15	25	10	10	
Poissons																				
Aucun poisson	7	POa	0	14	29	14	43	0	57	14	43	0	43	43	0	14	14	14	0	PO1
Poissons détritivores	12	POb	8	25	17	33	42	25	75	8	25	25	58	42	25	0	17	17	0	—
Poissons carnivores	34	POc	12	24	21	56	35	9	74	21	47	6	44	50	12	21	35	15	12	PO2
Amphibiens																				
Passablement	12	AMa	0	25	42	17	33	0	42	0	25	17	33	42	8	0	17	0	0	—
Beaucoup	10	AMb	10	40	10	30	50	30	70	0	20	20	50	40	10	10	0	20	0	AM1

Annexe 3 (suite)
Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses fréquentés par les oiseaux aquatiques du sud du Québec

Types de variables et description	Nombre de lacs visités (n = 78)	Code avant rationalisation	Espèces																Code après rationalisation
			BO	BSC	BUT	CN	GAC	GRB	HB	HG	HUA	KIL	MBQ	MOC	MP	PEC	RAM	SAV	VAL	
Variables pédo-botaniques																				
Régime trophique des berges																				
Berges carencées en régime organique	12	RTa	8	17	8	58	33	25	83	33	50	8	42	67	8	17	33	17	8	
Berges carencées en régime minéral	36	RTb	17	22	22	36	28	17	72	17	36	25	50	42	14	14	19	22	11	
Berges non carencées	30	RTc	3	23	20	43	57	7	63	10	33	0	33	47	17	7	33	0	3	
Pourcentage de sédiments organiques																				
Peu (≤ 33 % du rivage)	10	SOa	10	20	20	30	50	50	80	30	20	20	80	20	20	10	40	10	0	
Passablement (33-100 % du rivage)	48	SOb	2	21	15	35	40	10	58	2	31	10	35	46	8	2	19	2	4	
Plantes hélophytiques																				
Peu (< 2 % de la surface du lac)	61	PPa	11	23	20	43	38	13	69	16	39	15	43	49	11	10	31	11	7	
Passablement (2-8 % de la surface du lac)	17	PPb	6	18	18	41	47	18	76	18	29	6	41	41	24	18	12	18	12	
Plantes limnophytiques																				
Peu (≤ 10 % de la surface du lac)	46	PIa	4	24	17	41	41	17	67	9	35	11	46	43	11	7	24	9	9	
Passablement (11-80 % de la surface du lac)	32	PIb	19	19	22	44	38	9	75	28	41	16	38	53	19	19	31	19	6	
Plantes submergées																				
Peu (≤ 10 % du fond du lac)	65	PSa	11	23	22	45	38	15	71	20	38	11	42	49	14	14	29	15	9	—
Moyenne à élevée (11-50 % du fond du lac)	13	PSb	8	15	8	31	46	8	69	0	31	23	46	38	15	0	15	0	0	PS2
Plantes flottantes																				
Peu (≤ 6 % de la surface du lac)	64	PFa	9	25	14	41	44	16	72	13	34	13	44	45	16	9	27	9	8	—
Moyenne à élevée (6-50 % de la surface du lac)	14	PFb	14	7	43	50	21	7	64	36	50	14	36	57	7	21	29	29	7	PF2
Plantes émergées																				
Très peu (≤ 3,5 % de la surface du lac)	60	PMa	12	27	18	42	43	15	68	15	42	12	43	50	12	10	30	10	7	—
Peu (3,6-14 % de la surface du lac)	18	PMb	6	6	22	44	28	11	78	22	22	17	39	39	22	17	17	22	11	PM2
Végétation aquatique totale																				
Peu (≤ 11 % de la surface du lac)	46	TPa	4	24	17	41	41	17	67	9	35	11	46	43	11	7	24	9	9	TP1
Passablement (12-84 % de la surface du lac)	32	TPb	19	19	22	44	38	9	75	28	41	16	38	53	19	19	31	19	6	TP2
Composition de la bande riveraine																				
Peu d'herbaçaies (≤ 25 % du rivage)	63	BRa	10	17	21	44	43	13	73	19	37	11	40	46	17	11	30	11	8	BR1
Beaucoup d'herbaçaies (26-50 % du rivage)	15	BRb	13	40	13	33	27	20	60	7	40	20	53	53	0	13	13	20	7	BR2

Annexe 4
Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses fréquentés par les oiseaux aquatiques du nord du Québec

Types de variables et description	Nombre de lacs visités (*n* = 68)	Code avant rationalisation	Espèces														Code après rationalisation
			ARG	BCN	BEM	BER	BO	BSR	CN	COL	GMO	HB	MAJ	MBQ	PHA	SAV	STA	
Variables régionales																		
Sous-zone																		
Hémi-arctique supérieur	8	SZa	75	50	75	0	38	50	0	25	0	0	13	13	25	0	50	
Hémi-arctique montagnard	56	SZb	61	64	57	29	54	18	21	14	21	21	16	25	23	18	48	
Hémi-arctique inférieur	4	SZc	25	50	50	25	25	0	25	0	25	0	0	0	25	25	50	
Écorégion																		
Secteur Rivière George	11	ERa	82	36	82	0	27	36	0	18	0	0	9	9	27	0	45	
Secteur Rivière de Pas	57	ERb	56	67	54	30	54	18	23	14	23	21	16	25	23	19	49	
Paysage écologique																		
Toundra arctique	8	PEa	88	50	88	0	38	38	0	13	0	0	0	0	25	13	25	
Toundra alpine	7	PEb	57	57	43	0	14	43	14	14	0	0	14	29	14	14	71	
Muskeg	15	PEc	73	73	93	67	99	13	53	40	40	27	20	27	73	40	87	
Taïga	38	PEd	50	61	42	18	39	16	11	5	18	21	16	24	5	11	34	
Altitude																		
Moyenne (350–450 m)	18	ATa	61	61	72	22	61	28	11	6	28	22	28	6	22	11	50	
Élevée (451–600 m)	50	ATb	60	62	54	26	46	18	22	18	16	16	10	28	24	18	48	
Sensibilité à l'acidification (selon Gilbert et al., 1985)																		
Moyenne	47	SAa	53	57	53	27	47	15	21	21	17	13	13	21	23	19	53	
Élevée	21	SAb	76	71	71	19	57	33	14	0	24	29	19	24	24	10	38	
Variables morphométriques																		
Superficie																		
Très faible (3–15 ha)	17	SUa	41	47	24	12	24	6	12	6	0	12	12	24	0	18	29	SU1
Faible (16–75 ha)	51	SUb	67	67	71	29	59	25	22	18	25	20	16	22	31	16	55	SU2
Profondeur maximale																		
Très faible (≤ 2 m)	51	PXa	65	63	65	33	57	22	24	14	25	22	20	24	29	22	53	PX1
Faible (3–11 m)	17	PXb	47	59	41	0	29	18	6	18	0	6	0	18	6	0	35	PX2
Pente de la berge																		
Faible	35	BNa	54	66	54	23	43	26	20	9	11	9	11	20	26	23	51	
Modérée	33	BNb	67	58	64	27	58	15	18	21	27	27	18	24	21	9	45	
Îlots																		
Absence	35	ILa	49	63	51	26	51	17	23	17	23	23	6	20	20	14	49	
Présence	33	ILb	73	61	67	24	48	24	15	12	15	12	24	24	27	18	48	
Indice de développement du rivage																		
Forme circulaire (1,0–1,3)	36	IDa	64	64	53	31	44	17	22	19	22	19	14	17	22	22	47	
Forme semi-circulaire (1,4–3,0)	32	IDb	56	59	66	19	56	25	16	9	16	16	16	28	25	9	50	
Indice de réticulation du rivage																		
Faible	20	IRa	40	60	35	5	20	15	5	15	10	5	0	15	5	5	35	IR1
Moyen	32	IRb	66	53	53	19	47	31	16	6	16	19	16	25	19	9	34	IR1
Élevé	16	IRc	75	81	99	63	94	6	44	31	38	31	31	25	56	44	94	IR2

Annexe 4 (suite)
Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses fréquentés par les oiseaux aquatiques du nord du Québec

Types de variables et description	Nombre de lacs visités (n = 68)	Code avant rationalisation	Espèces														Code après rationalisation
			ARG	BCN	BEM	BER	BO	BSR	CN	COL	GMO	HB	MAJ	MBQ	PHA	SAV	STA	
Variables physico-chimiques																		
Couleur																		
Eau claire (1–20 Hazen)	49	COa	61	53	53	14	43	27	12	12	12	16	10	29	16	6	41	CO1
Eau colorée (21–40 Hazen)	18	COb	56	89	72	50	67	6	33	17	33	17	28	6	39	39	67	CO2
Turbidité																		
Faible (< 1,0 Jackson)	19	TUa	47	58	47	5	37	37	11	5	11	5	5	32	5	5	37	
Modérée (1,0–1,9 Jackson)	32	TUb	59	56	50	16	34	16	9	19	19	22	16	16	16	9	34	
Élevée (2,0–8,0 Jackson)	17	TUc	76	76	88	65	94	12	47	18	29	24	24	24	59	41	88	
pH été																		
Très acide (3,0–4,5)	7	PHa	0	43	14	0	14	14	0	14	0	0	0	14	0	0	0	PH1
Peu acide (5,6–6,9)	47	PHc	66	64	64	28	53	19	21	17	21	21	19	19	30	19	57	PH2
Alcalin (7,0–8,6)	14	PHd	71	64	64	29	57	29	21	7	21	14	7	36	14	14	43	PH2
Alcalinité																		
Très peu tamponnée (0–3 mg $CaCO_3$/L)	11	ACa	36	45	36	0	18	18	0	18	9	9	0	18	9	0	27	AC1
Peu tamponnée (4–10 mg $CaCO_3$/L)	45	ACb	67	69	64	31	58	20	24	16	22	22	22	18	29	22	58	AC1
Bien tamponnée (11–35 mg $CaCO_3$/L)	12	ACc	58	50	58	25	50	25	17	8	17	8	0	42	17	8	33	AC2
Conductivité																		
Faible (3–25 µS/cm)	49	CDa	69	65	65	29	57	18	18	14	20	20	20	18	29	18	55	
Modérée à élevée (26–40 µS/cm)	18	CDb	33	56	39	11	28	28	17	11	11	6	0	33	6	6	28	
Indice de saturation calcique																		
Très bien tamponné (0,5–3,0)	13	ISa	62	54	62	31	54	31	23	8	23	15	8	38	15	15	38	
Modérément tamponné (3,1–5,1)	47	ISb	68	68	64	26	53	19	19	15	19	19	19	19	28	17	57	
Tanins et lignine																		
Faible à modérée (0,1–1,0 mg/L)	54	TLa	61	59	59	22	46	26	19	13	17	17	15	26	19	17	46	
Modérée à élevée (1,1–1,5 mg/L)	13	TLb	54	77	54	31	62	0	15	15	23	15	15	8	38	8	54	
Sulfates																		
Très faible (0,3–1,5 mg SO_4/L)	42	SFa	69	60	67	24	57	26	19	14	21	21	24	24	26	14	55	SF1
Faible (1,6–3,5 mg SO_4/L)	16	SFb	63	81	63	38	50	6	19	13	19	13	0	19	25	25	50	SF1
Modérée à élevée (3,5–83,0 mg SO_4/L)	9	SFc	11	44	11	0	11	22	11	11	0	0	0	22	0	0	11	SF2
Aluminium																		
Faible (0,03–0,05 mg/L)	38	ALa	71	58	74	26	53	26	24	16	16	11	18	21	29	18	61	AL1
Modérée (0,06–0,10 mg/L)	18	ALb	56	83	39	22	44	11	11	6	22	22	6	33	17	11	33	AL2
Élevée (0,11–3,35 mg/L)	11	ALc	27	45	36	18	45	18	9	18	27	27	18	9	9	9	27	AL3
Variables biologiques																		
Chlorophylle «a»																		
Extrêmement faible (0,1–1,0 mg/m³)	30	YAc	47	50	50	10	40	20	10	10	10	10	3	23	10	3	43	YA1
Très faible (1,1–2,0 mg/m³)	19	YAb	79	79	58	21	37	32	11	11	21	21	32	26	21	16	47	YA1
Faible (2,1–3,1; 33 mg/m³)	19	YAc	63	63	74	53	79	11	42	26	32	26	16	16	47	37	58	YA2
Poids sec de seston																		
Oligotrophe (0–50 mg/m³)	30	SEa	60	53	47	7	33	30	10	10	0	7	10	23	10	3	33	SE1
Mésotrophe (51–175 mg/m³)	25	SEb	60	68	60	32	56	12	24	16	32	28	20	16	24	28	56	SE2
Eutrophe (176–500; 866 mg/m³)	12	SEc	58	75	92	58	75	17	33	25	42	25	17	33	50	25	75	SE2
Potentiel de fertilité naturelle																		
Oligotrophe (0,0–0,9 mg/L)	36	FNa	53	56	56	17	44	19	11	17	11	14	19	25	19	14	47	
Mésotrophe (0,1–0,6 mg/L)	22	FNb	73	73	59	23	50	23	14	14	27	14	9	23	23	14	32	
Eutrophe (0,7–3,2; 8,9 mg/L)	10	FNc	60	60	70	30	70	20	60	10	30	40	10	10	40	30	90	
Calcium																		
Très faible (0,4–1,4 mg/L)	38	CEa	71	66	71	32	58	21	21	18	21	24	24	21	34	18	61	
Faible (1,5–2,9 mg/L)	18	CEb	50	56	44	22	39	17	6	6	11	6	6	11	11	17	33	
Moyenne à élevée (3,0–10,0 mg/L)	11	CEc	36	64	36	0	36	27	27	9	18	9	0	45	0	0	27	
Toxicité																		
Pas de problème	56	TXa	68	63	63	28	50	23	21	14	21	21	14	25	21	16	52	
Problèmes possibles	6	TXb	50	83	67	50	83	17	17	17	17	0	33	17	67	33	67	
Problèmes sérieux	6	TXc	0	33	17	0	17	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	
Poissons																		
Aucun poisson	6	POa	0	33	17	0	17	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	
Poissons carnivores	14	POb	71	86	79	29	57	43	14	7	21	36	29	36	21	14	43	PO2
Présence probable de poissons	40	POc	60	60	60	33	55	18	20	18	20	13	10	23	30	23	60	

Annexe 4 (suite)
Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses fréquentés par les oiseaux aquatiques du nord du Québec

Types de variables et description	Nombre de lacs visités (n = 68)	Code avant rationalisation	Espèces														Code après rationalisation
			ARG	BCN	BEM	BER	BO	BSR	CN	COL	GMO	HB	MAJ	MBQ	PHA	SAV	STA	
Variables pédo-botaniques																		
Régime trophique des berges																		
Berges carencées en régime organique	13	RTa	54	54	31	0	23	23	0	8	0	15	0	23	0	0	31	
Berges carencées en régime minéral	13	RTb	69	46	85	46	85	8	46	31	46	31	8	23	62	46	77	
Berges non carencées	42	RTc	60	69	60	26	48	24	17	12	17	14	21	21	19	12	45	
Pourcentage de sédiments organiques																		
Peu (≤ 33 % du rivage)	47	SOa	66	64	60	26	49	21	15	17	17	15	9	23	23	11	43	
Passablement (33–80 % du rivage)	21	SOb	48	57	57	24	52	19	29	10	24	24	29	19	24	29	62	
Plantes hélophytiques																		
Peu (< 2 % de la surface du lac)	52	PPa	58	63	63	29	54	23	23	19	19	13	13	21	29	19	50	
Passablement (2–18 % de la surface du lac)	13	PPb	69	54	46	15	38	15	8	0	23	38	23	31	8	8	46	
Plantes limnophytiques																		
Peu (< 20 % de la surface du lac)	52	PIa	65	65	63	33	56	23	23	15	23	21	19	23	29	21	56	
Passablement (20–80 % de la surface du lac)	13	PIb	38	46	46	0	31	15	8	15	8	8	0	23	8	0	23	
Végétation aquatique totale																		
Peu (< 12 % de la surface du lac)	45	TPa	64	69	67	38	60	22	27	18	22	22	16	18	33	24	56	TP1
Passablement (12–80 % de la surface du lac)	20	TPb	50	45	45	0	30	20	5	10	15	10	15	35	5	0	35	TP2
Composition de la bande riveraine																		
Peu d'herbaçaies (≤ 10 % du rivage)	12	BRa	33	33	25	0	8	17	0	8	8	0	8	25	0	0	25	BR1
Beaucoup d'herbaçaies sans mares (≥ 25 % du rivage)	19	BRb	74	58	63	16	53	37	26	5	21	21	21	26	11	16	42	BR2
Beaucoup d'herbaçaies avec mares (≥ 25 % du rivage)	19	BRc	63	74	95	58	84	11	37	32	26	26	21	21	58	32	79	BR3
Types de plantes aquatiques																		
Pas de plantes aquatiques	34	VSa	65	74	68	41	62	26	26	18	24	24	18	26	29	29	53	—
Plantes vasculaires surtout	11	VSb	73	64	36	9	55	9	18	9	36	18	27	18	9	9	45	VS1
Plantes non vasculaires surtout	20	VSc	45	40	60	10	30	20	10	15	5	10	5	20	25	0	45	VS2

Annexe 5
Pourcentage des lacs possédant divers types d'herbiers aquatiques ayant été fréquentés par les oiseaux aquatiques du sud et du nord du Québec

Québec méridional	Nombre de lacs visités	Codes	Espèces						
			BSC	BUT	CN	GAC	HB	HUA	MOC
Groupements à :									
Dulichium arundinaceum et algues	26	DUaALg	8	8	12	8	38	19	8
Eleocharis Smallii et *Brasenia Schreberi*	36	ELsBRs	6	17	11	8	11	8	0
Eriocaulon septangulare	31	ERs	13	3	16	16	6	13	3
Nuphar variegatum et *Sparganium* sp.	43	NUvSPA	7	12	16	14	28	23	30
Sagittaria latifolia	7	SAGl	0	0	14	0	43	57	71
Sparganium angustifolium et *Eleocharis uniglumis*	15	SPAaELu	7	13	33	13	53	40	7
Sparganium eurycarpum et *Potamogeton epihydrus*	17	SPAePOe	12	0	12	18	53	18	24
Sparganium fluctuans et *Potamogeton Oakesianus*	12	SPAfPOo	0	0	0	25	25	17	25
Utricularia vulgaris	19	UTv	5	0	26	21	21	16	32

Québec septentrional	Nombre de lacs visités	Codes	Espèces								
			ARG	BCN	BEM	BO	CN	GMO	HB	MAJ	PHA	STA
Groupements à :												
Drepanocladus exannulatus	4	DRe	50	75	75	25	0	0	25	0	25	50
Hippuris vulgaris	3	Hlv	67	67	67	100	100	33	33	0	0	67
Menyanthes trifoliata	5	MEt	60	80	40	20	0	20	20	40	20	40
Potamogeton filiformis	4	POf	50	50	25	50	0	25	25	25	0	50
Scorpidium scorpioides	7	SCs	29	29	57	14	14	14	14	14	29	71

Annexe 6
Nombre d'individus des principales espèces d'oiseaux ripicoles observées dans les unités d'habitats riverains caractérisées du sud du Québec

Types de variables et description	Nombre d'unités caractérisées	Code	Espèces																
			CAL	CAR	CGR	CHA	KIL	LIN	M	MAI	MAR	MAS	MAU	MBQ	MOL	MRO	PCT	RUI	TYR
Variables édaphiques																			
pH du sol																			
Très acide (3,5–4,5)	87	PL_1	3	104	2	11	4	31	15	27	153	194	10	9	25	9	8	6	18
Moyennement acide (4,6–6,2)	62	PL_2	3	13	3	0	1	3	1	3	47	57	5	11	7	1	1	0	6
Azote total																			
Teneur faible (0,03–1,5 %)	112	NT_1	2	7	2	0	1	7	1	1	28	54	2	7	0	3	2	0	1
Teneur moyenne à forte (1,6 %–3 %)	219	NT_2	1	22	1	0	0	12	0	3	84	93	6	6	9	2	0	0	8
Matière organique																			
Teneur modérée (1 %–60 %)	76	MO_1	3	7	2	0	0	1	1	2	17	34	5	8	1	1	2	0	4
Teneur élevée (61 %–100 %)	255	MO_2	0	22	1	0	1	18	0	2	95	113	3	5	8	7	0	0	5
Habitats physionomiques																			
Herbaçaie et plage graveleuse	59	H_1	0	9	—	0	3	4	0	3	11	1	0	9	0	0	0	0	1
Unité tachetée à arbustes et quenouilles	199	$TTYAM_1$	0	28	—	0	0	0	0	5	11	9	0	0	1	0	1	1	2
Unité tachetée à arbustes et conifères	61	$TAMCO_1$	1	9	—	0	0	10	0	2	29	33	1	0	3	2	1	1	3
Arbustaie basse minérotrophe	276	AM_1	1	58	—	4	2	17	1	5	147	168	1	9	7	3	4	0	13
Arbustaie basse ombrotrophe	53	AM_2	0	3	—	0	0	4	0	0	23	41	0	0	5	1	2	0	1
Arbustaie haute	59	AH_1	4	4	—	0	0	2	0	3	15	23	15	0	0	1	2	0	5
Arboraie à feuillus	74	FFE_0	0	7	—	0	0	1	0	0	0	5	0	0	2	0	0	1	0
Arboraie à conifères	117	FCO_0	0	14	—	5	0	3	5	7	7	10	0	0	10	4	1	2	4
Arboraie mixte	123	$FMIX_0$	2	5	—	2	0	2	9	11	4	13	0	0	11	0	1	3	3
Habitats taxonomiques																			
Quenouillaie	33	TY	0	21	—	0	—	0	0	1	3	4	0	0	0	0	0	0	1
Cariçaie	751	C	4	165	—	9	—	32	27	3	164	146	2	38	5	0	21	8	16
Myriçaie	53	MY	0	14	—	0	—	1	0	1	15	14	1	1	1	0	0	0	1
Myriçaie à chamédaphné	277	MYCH	8	30	—	24	—	9	6	0	55	70	0	2	5	2	8	2	4
Chamédaphnaie à myrique	446	CHMY	0	144	—	0	—	9	12	0	76	102	2	5	6	1	12	2	13
Chamédaphnaie	109	CH	1	5	—	0	—	12	0	0	22	42	1	0	2	1	1	0	2
Mélézin à chamédaphné et myrique	110	MECHMY	0	15	—	0	—	5	2	0	25	26	0	0	3	0	1	0	1
Pessière noire à chamédaphné	22	PNCH	0	2	—	0	—	5	0	0	3	5	0	0	0	1	0	0	0
Bétulaie blanche riparienne	42	BOB	0	2	—	0	—	0	0	0	2	24	4	0	2	0	0	2	2
Aulnaie à myrique	100	ALMY	8	7	—	12	—	0	0	0	3	9	12	0	4	0	2	4	1
Aulnaie à carex	347	ALC	13	13	—	17	—	21	8	2	26	37	16	2	2	1	8	18	5

Annexe 7
Nombre d'individus des principales espèces d'oiseaux ripicoles observées dans les unités d'habitats riverains caractérisées du nord du Québec

Types de variables et description	Nombre d'unités caractérisées	Code	Espèces																
			ALO	BEM	BER	BO	BRU	COB	COL	HUD	LIN	M	MBQ	MRO	PHA	PIP	PRE	ROU	RUI	SIZ
Variables édaphiques																				
pH du sol																				
Très acide (2,9–4,5)	76	PL_1	2	10	2	4	5	16	4	38	2	3	3	20	1	0	8	1	7	3
Moyennement acide (4,6–6,6)	269	PL_2	6	31	25	23	23	47	5	128	11	21	8	54	21	7	62	4	27	15
Azote total																				
Teneur faible (0,01–1,5 %)	83	NT_1	2	9	3	2	18	21	3	45	3	6	2	23	0	4	8	3	6	10
Teneur moyenne à forte (1,6 %–3,7 %)	262	NT_2	6	40	30	25	10	47	6	126	10	18	9	52	38	3	69	2	28	8
Matière organique																				
Teneur modérée (1 %–60 %)	94	MO_1	2	12	3	7	18	21	3	47	3	5	2	23	0	4	12	3	7	9
Teneur élevée (61 %–98 %)	251	MO_2	6	37	30	20	10	47	6	124	10	19	9	52	38	3	65	2	27	9
Habitats physionomiques																				
Lichenaie	27	Lo	3	1	0	0	4	5	1	6	0	2	2	0	0	4	0	0	0	0
Herbaçaie sans mares	61	$HSMN_1$	0	6	3	5	6	0	0	6	0	0	5	2	0	0	6	0	1	1
Herbaçaie avec mares	132	HM_1	4	54	37	18	25	20	8	38	2	12	5	45	42	4	74	0	8	4
Arbustaie basse sans ruisseau	7	ABos	2	1	0	0	3	0	0	5	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
Arbustaie basse avec ruisseau	12	ABo	0	1	0	0	0	4	0	10	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Arbustaie basse minérotrophe	36	AB_1	0	0	0	3	0	8	0	22	2	0	0	4	0	0	1	0	9	6
Unité tachetée à herbes et épinettes	129	$THPN_2$	0	7	6	5	0	30	1	112	9	18	2	27	4	0	7	1	17	3
Arboraie à épinette noire et mélèze	217	PNME	0	1	0	1	0	42	0	81	7	14	0	22	0	0	1	4	28	8
Arboraie à épinette noire	22	FPNo	0	0	0	0	0	3	0	4	0	3	1	0	0	0	0	0	1	3
Unité tachetée à arbustes et épinettes	12	TABPo	0	0	0	0	0	10	0	6	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbustaie haute	10	AH_1	0	0	0	0	0	5	0	7	0	1	0	0	0	0	0	3	2	2
Habitats taxonomiques																				
Lichenaie	27	LI	3	1	0	0	3	4	1	5	0	2	0	0	0	4	0	0	0	1
Cariçaie	245	C	3	21	22	17	21	6	6	16	1	3	6	26	19	6	34	0	8	1
Cariçaie à bouleau glanduleux	88	CBG	4	6	1	4	17	3	0	14	2	0	1	5	9	1	10	0	0	2
Cariçaie à mélèze	258	CME	0	27	11	14	0	12	6	67	6	16	2	39	16	1	35	3	4	5
Cariçaie à épinette noire	155	CPN	0	4	5	2	0	15	0	48	2	5	3	15	0	0	4	0	8	2
Pessière noire à sphaignes	80	PNSP	0	0	0	0	0	3	1	20	2	0	0	8	0	0	0	0	5	3
Mélézin à épinette noire	28	MEPNSP	0	0	0	0	0	2	0	11	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0
Mélézin à bouleau glanduleux	114	MEBG	0	7	0	2	0	10	0	33	5	7	0	6	4	0	0	0	10	1
Bétulaie glanduleuse à épinettes	30	BGEl	0	0	0	0	0	8	0	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1
Bétulaie glanduleuse	25	BG	2	1	0	0	3	3	0	13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3
Saulaie	48	SA	0	0	1	2	0	6	0	14	2	0	0	11	0	0	0	0	9	3

Annexe 8
Aides à l'interprétation des analyses factorielles des correspondances se rapportant aux oiseaux aquatiques

Titre de l'ANAFACOR Dimensions[a] de la matrice, trace[b] et taux d'inertie[c] des principaux facteurs	Variables environnementales contribuant le plus à la variance des trois premiers facteurs (Pourcentage de contribution absolue au facteur[d])	Espèces aquatiques dont la distribution est la plus influencée par les trois premiers facteurs (Pourcentage de contribution relative du facteur[e])
Allure générale des lacs		
Sud du Québec		
(8 espèces et 3 variables en 6 modalités; trace = 0,025)		
1er facteur (57 %)[c]	SU_2 (22 %) / IR_2 (– 27 %), SU_1 (– 20 %)[f]	HUA (67 %) / BUT (– 95 %), MOC (– 76 %), CN (– 68 %)
2e facteur (35 %)	PX_1 (35 %), SU_2 (20 %) / PX_2 (– 22 %), SU_1 (– 21 %)	MBQ (75 %), HB (71 %) / BSC (– 66 %), GAC (– 56 %)
3e facteur (7 %)	IR_2 (16 %) / IR_1 (– 17 %)	HUA (32 %), CN (18 %)
Nord du Québec		
(14 espèces et 3 variables en 6 modalités; trace = 0,049)		
1er facteur (69 %)	PX_2 (36 %), IR_1 (22 %) / IR_2 (– 32 %)	ARG (97 %), BCN (90 %), BSR (64 %), MBQ (61 %) / BER (– 99 %), PHA (– 69 %), MAJ (– 63 %), CN (– 59 %), GMO (– 56 %), SAV (– 55 %)
2e facteur (23 %)	SU_1 (80 %)	SAV (44 %) / BEM (– 61 %)
3e facteur (8 %)	PX_2 (48 %), IR_2 (26 %)	STA (87 %), BO (42 %), BEM (35 %)
Caractéristiques physico-chimiques des lacs		
Sud du Québec		
(8 espèces et 5 variables en 12 modalités; trace = 0,037)		
1er facteur (66 %)	PH_1 (29 %), AL_2 (17 %) / AL_1 (– 15 %), AC_3 (– 12 %), PH_2 (– 12 %)	GAC (98 %), BSC (37 %), MOC (30 %) / BUT (– 93 %), HUA (– 74 %), HB (– 67 %)
2e facteur (18 %)	AL_2 (33 %) / AL_1 (– 27 %)	MBQ (66 %) / MOC (– 33 %)
3e facteur (10 %)	CO_1 (38 %) / CO_2 (– 27 %)	HUA (20 %), BSC (19 %) / CN (– 33 %), MOC (– 27 %)
Nord du Québec		
(14 espèces et 5 variables en 12 modalités; trace = 0,016)		
1er facteur (57 %)	SF_2 (24 %), CO_1 (17 %), PH_1 (16 %) / CO_2 (– 27 %)	MBQ (93 %), BSR (75 %), BCN (30 %) / SAV (– 84 %), PHA (– 79 %), BER (– 75 %), MAJ (– 66 %), GMO (– 45 %), STA (– 45 %)
2e facteur (18 %)	AL_2 (26 %), CO_2 (17 %), PH_1 (16 %) / AL_1 (– 18 %)	BCN (62 %), GMO (25 %) / BEM (– 64 %), ARG (– 62 %), STA (– 40 %)
3e facteur (12 %)	AL_3 (18 %) / SF_2 (– 22 %), AL_1 (– 17 %)	HB (82 %) / CN (– 51 %)
Caractéristiques biologiques des lacs		
Sud du Québec		
(8 espèces et 8 variables en 16 modalités; trace = 0,029)		
1er facteur (55 %)	YA_1 (16 %) / PF_2 (– 26 %), YA_2 (– 19 %)	BSC (71 %), GAC (61 %) / BUT (– 80 %)
2e facteur (20 %)	YA_1 (10 %), PM_2 (8 %) / AM_1 (– 29 %), BR_2 (– 21 %), PO_1 (– 8 %)	CN (65 %), HB (42 %) / BSC (– 23 %)
3e facteur (12 %)	BR_2 (23 %), PO_2 (13 %) / AM_1 (– 24 %), PM_2 (– 13 %), PO_1 (– 12 %)	HUA (58 %) / HB (– 29 %), GAC (– 22 %)
Nord du Québec		
(14 espèces et 8 variables en 16 modalités; trace = 0,074)		
1er facteur (72 %)	SE_1 (18 %), TP_2 (15 %), BR_1 (12 %) / YA_2 (– 15 %), BR_3 (– 12 %)	ARG (88 %), MBQ (84 %), BSR (82 %), BCN (72 %) / BER (– 94 %), SAV (– 88 %), CN (– 77 %), PHA (– 69 %), BO (– 61 %), HB (– 55 %)
2e facteur (14 %)	US_2 (24 %) / US_1 (– 38 %)	BEM (55 %) / MAJ (– 73 %), GMO (– 71 %)
3e facteur (7 %)	US_3 (18 %), TP_2 (14 %) / BR_2 (– 27 %), SE_1 (– 15 %)	STA (72 %)
Type d'herbiers aquatiques		
Sud du Québec		
(7 espèces et 9 variables en 9 modalités; trace = 0,292)		
1er facteur (49 %)	ELsBRs (45 %) / SAGl (– 21 %)	BUT (67 %), BSC (39 %) / MOC (– 83 %)
2e facteur (21 %)	– / ERs (– 54 %), UTv (– 15 %)	HB (39 %) / GAC (– 65 %), BSC (– 33 %)
3e facteur (16 %)	SPAePOe (24 %) DUaAIg (21 %) / NUvSPA (– 19 %), ELsBRs (– 15 %)	HB (50 %)
Nord du Québec		
(10 espèces et 5 variables en 5 modalités; trace = 0,283)		
1er facteur (55 %)	MEt (17% / HIv (– 74 %)	PHA (42 %), MAJ (39 %), BCN (30 %) / CN (– 93 %), BO (– 65 %)
2e facteur (27 %)	SCs (38 %) DRe (11 %) / POf (– 34 %), MEt (– 18 %)	BEM (85 %), PHA (53 %), STA (45 %) / ARG (– 62 %), GMO (– 42 %)
3e facteur (12 %)	DRe (65 %) / SCs (– 32 %)	HB (43 %), BCN (40 %) / GMO (– 48 %)

[a] Les modalités des variables environnementales retenues pour chacune des analyses sont décrites aux annexes 3, 4 et 5.
[b] La trace est la somme des moments d'inertie. Elle indique la variance totale du nuage multidimensionnel.
[c] Le taux d'inertie indique le pourcentage de la variance totale expliqué par le facteur.
[d] Il s'agit du pourcentage de la variance du facteur expliqué par chacune des variables environnementales.
[e] Il s'agit du pourcentage de la variance dans la distribution des espèces expliqué par l'axe.
[f] Les signes « + » et « – » indiquent le sens de la corrélation au facteur.

Annexe 8 (suite)
Aides à l'interprétation des analyses factorielles des correspondances se rapportant aux oiseaux aquatiques

Titre de l'ANAFACOR Dimensions[a] de la matrice, trace[b] et taux d'inertie[c] des principaux facteurs	Variables environnementales contribuant le plus à la variance des trois premiers facteurs (Pourcentage de contribution absolue au facteur[d])	Espèces aquatiques dont la distribution est la plus influencée par les trois premiers facteurs (Pourcentage de contribution relative du facteur[e])
Effet de l'acidité des lacs		
Laurentides (8 espèces et 4 variables en 8 modalités; trace = 0,038)		
1er facteur (58 %)	PH_1 (27 %), YA_1 (18 %), IR_1 (12 %) / YA_2 (– 27 %), PH_2 (– 13 %)	GAC (86 %), BSC (19 %) / BUT (– 94 %), HUA (– 59 %)
2e facteur (22 %)	IR_1 (45 %) / PH_1 (– 25 %), IR_2 (– 18 %)	MBQ (92 %), CN (21 %) / MOC (– 45 %), BSC (– 42 %)
3e facteur (12 %)	CO_1 (47 %) / CO_2 (– 30 %)	HB (42 %), BSC (36 %), HUA (32 %) / MOC (– 45 %), CN (– 41 %)
Taïga (14 espèces et 4 variables en 8 modalités; trace = 0,064)		
1er facteur (51 %)	PH_1 (27%), CO_1 (13 %) / CO_2 (– 26 %), YA_2 (– 17 %)	MBQ (93 %), BSR (60 %), BEM (48 %) / BER (– 91 %), CN (– 76 %), SAV (– 67 %), MAJ (– 55 %)
2e facteur (29 %)	CO_2 (33 %), IR_1 (25 %), PH_1 (19 %) / CO_1 (– 16 %)	BCN (74 %), BEM (31 %) / HB (– 77 %), BO (– 58 %), PHA (– 56 %)
3e facteur (12 %)	YA_2 (39 %), PH_1 (38 %)	BSR (32 %), PHA (30 %) / GMO (– 67 %), STA (– 3[illegible]

Annexe 9
Aides à l'interprétation des analyses factorielles des correspondances se rapportant aux oiseaux ripicoles

Titre de l'ANAFACOR Dimensions[a] de la matrice, trace[b] et taux d'inertie[c] des principaux facteurs	Variables environnementales contribuant le plus à la variance des trois premiers facteurs (Pourcentage de contribution absolue au facteur[d])	Espèces ripicoles dont la distribution est la plus influencée par les principaux facteurs (Pourcentage de contribution relative du facteur[e])
Caractéristiques édaphiques des berges		
Sud du Québec		
(17 espèces et 3 variables en 6 modalités; trace = 0,128)		
1er facteur (56 %)[c]	– / PL_1 (– 55 %)[f]	MAS (75 %), MBQ (56 %), CGR (50 %) / CAR (– 95 %), RUI (– 94 %), CHA (– 94 %), MAI (– 79 %), M (– 71 %), MOL (– 59 %)
2e facteur (33 %)	MO_1 (37 %) / MO_2 (– 35 %)	PCT (76 %), CAL (72 %), MAU (48 %), CGR (47 %), MBQ (43 %) / MAR (– 73 %), LIN (– 61 %)
3e facteur (9 %)	NT_2 (20 %) / NT_1 (– 63 %)	TYR (72 %) / MRO (– 96 %), KIL (– 35 %)
Nord du Québec		
(18 espèces et 3 variables en 6 modalités; trace = 0,081)		
1er facteur (86 %)	NT_1 (38 %), MO_1 (28 %) / NT_2 (– 17 %), MO_2 (– 14 %)	ROU (97 %), BRU (95 %), SIZ (93 %), COB (79 %), MRO (66 %), PIP (66 %), HUD (54 %) / PHA (– 94 %), BER (– 90 %), PRE (– 10 %), RUI (– 78 %), BO (– 52 %)
2e facteur (11 %)	PL_2 (13 %) / PL_1 (– 84 %)	M (53 %), LIN (42 %) / ALO (– 85 %), COL (– 70 %), MBQ (– 59 %), HUD (– 43 %)
3e facteur (2 %)	PL_2 (35 %) / NT_1 (– 34 %), MO_2 (– 23 %)	BO (36 %)
Caractéristiques physionomiques de la végétation ripicole		
Sud du Québec		
(16 espèces et 9 variables en 9 modalités; trace = 0,791)		
1er facteur (35 %)	AM_1 (11 %) / $FMIX_0$ (– 50 %), FCO_0 (– 29 %)	MAR (75 %), MAS (35 %) / M (– 88 %), MOL (– 87 %), RUI (– 82 %), MAI (– 78 %), CHA (58 %)
2e facteur (27 %)	H_1 (22 %) / AH_1 (– 70 %)	MBQ (30 %), KIL (28 %), CAR (19 %) / MAU (– 77 %), CAL (– 77 %), PCT (– 55 %), TYR (– 47 %)
3e facteur (19 %)	H_1 (64 %) / AH_1 (– 17 %)	KIL (62 %), MBQ (58 %), MAU (17 %) / MAS (– 49 %)
4e facteur (11 %)	– / $TTYAM_1$ (– 66 %)	LIN (21 %) / CAR (– 74 %)
Nord du Québec		
(18 espèces et 11 variables en 11 modalités; trace = 0,844)		
1er facteur (53 %)	HM_1 (47 %) / PNME (– 23 %)	BEM (96 %), PRE (88 %), BER (87 %), PHA (74 %), COL (68 %), BRU (62 %) / HUD (– 83 %), RUI (– 66 %), LIN (– 61 %), COB (– 63 %)
2e facteur (19 %)	– / L_0 (– 68 %), ABos (– 23 %)	MRO (45 %) / PIP (– 82 %), ALO (– 80 %)
3e facteur (8 %)	$HSMN_1$ (55 %)	MBQ (39 %), SIZ (34 %), BO (31 %)
4e facteur (7 %)	$THPN_2$ (17 %) / AH_1 (– 62 %)	– / ROU (– 59 %)
Type de végétation ripicole		
Sud du Québec		
(15 espèces et 11 variables en 11 modalités; trace = 0,459)		
1er facteur (54 %)	ALMY (40 %), ALC (34 %)	CAL (93 %), MAU (82 %), CHA (75 %), RUI (70 %) / CAR (– 50 %), MAR (– 45 %)
2e facteur (16 %)	TY (15 %), ALMY (14 %) / CH (– 32 %), PNCH (– 15 %)	CAR (42 %) / LIN (– 53 %), MAS (– 45 %), MRO (– 40 %)
3e facteur (11 %)	C (23 %), ALC (14 %) / BOB (– 33 %)	M (60 %), PCT (41 %), MBQ (40 %) / MOL (– 52 %), MAS (– 44 %)
4e facteur (8 %)	MYCH (60 %) / ALC (– 18 %)	CHA (22 %) / TYR (– 25 %)
Nord du Québec		
(18 espèces et 11 variables en 11 modalités; trace = 0,658)		
1er facteur (44 %)	– / C (– 36 %)	HUD (78 %), COB (46 %) / PRE (– 75 %), PHA (– 75 %), BO (– 67 %), BRU (– 54 %), BER (– 46 %)
2e facteur (23 %)	CME (18 %) / LI (– 43 %), BG (– 15 %)	MRO (57 %) / ALO (– 77 %)
3e facteur (10 %)	SA (22 %) / CME (– 26 %), BGEP (– 23 %)	RUI (38 %) / M (– 61 %), ROU (– 37 %)
4e facteur (8 %)	LI (28 %) / CBG (– 33 %)	PIP (35 %)

[a] Les modalités des variables environnementales retenues pour chacune des analyses sont décrites aux annexes 6 et 7.
[b] La trace est la somme des moments d'inertie. Elle indique la variance totale du nuage multidimensionnel.
[c] Le taux d'inertie indique le pourcentage de la variance totale expliqué par le facteur.
[d] Il s'agit du pourcentage du facteur expliqué par chacune des variables environnementales.
[e] Il s'agit du pourcentage de la variance dans la distribution des espèces expliqué par l'axe.
[f] Les signes « + » et « – » indiquent le sens de la corrélation au facteur.

Phytoécologie de l'habitat des oiseaux lacustres du Québec

par Marcel Darveau[1], Benoît Houde[2] et Jean-Luc DesGranges

SCF, Sainte-Foy (Qué.)
G1V 4H5

1. Résumé

Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche du Service canadien de la faune, d'Environnement Canada, concernant les conséquences que pourraient avoir les précipitations acides sur les oiseaux lacustres du Québec. Il vise à décrire les habitats lacustres et les effets que l'acidification pourra avoir sur eux dans deux zones biogéographiques du Québec : la zone tempérée et l'hémi-arctique. La végétation aquatique et riveraine de 78 lacs du sud et de 68 lacs du nord du Québec est décrite brièvement et mise en correspondance avec les caractéristiques régionales des milieux qui la supportent, avec la morphométrie et la qualité de l'eau des lacs et avec les variables descriptives des sols riverains.

Nous avons décrit neuf groupements de végétation aquatique dans les lacs du sud, ceci sur la base des espèces dominantes. Un lac typique est recouvert à 20 % par la végétation. Au nord, cinq groupements confèrent un recouvrement moyen de 10 % aux lacs. Nous avons corrélé les groupements de chaque zone aux cinq variables qui, parmi celles mesurées, exprimaient le mieux la morphométrie du lac, la physico-chimie et la productivité biologique de l'eau. Au sud, les groupements se répartissent selon un gradient des lacs peu acides et peu profonds vers les lacs acides et profonds, et, dans une certaine mesure, selon la teneur en calcium de l'eau et l'indice de réticulation du rivage (indice basé sur le découpage de la rive, l'étendue des zones inondables ainsi que l'abondance et la morphologie des ruisseaux). Au nord, à l'exception des lacs acides qui ne contiennent aucun des cinq groupements reconnus, c'est la teneur en calcium et l'indice de réticulation qui viennent expliquer la distribution des groupements.

Quant à la végétation riveraine, 11 groupements appartenant à 6 unités morphologiques ou physionomiques ont été reconnus sur les lacs du sud du Québec et 11 groupements correspondant à 10 unités morphologiques l'ont été sur les lacs du nord. Au sud, la distribution des groupements se fait selon un gradient des sols très acides et riches en matière organique vers les sols de caractéristiques contraires. Au nord, les rôles respectifs des variables pédologiques sont plus difficiles à déterminer et la teneur en azote et la teneur en matière organique des sols s'avèrent les principales variables pédologiques expliquant la distribution des groupements. L'effet de l'acidification des sols est discuté en fonction de l'écologie des sphaignes et de l'accumulation de matière organique.

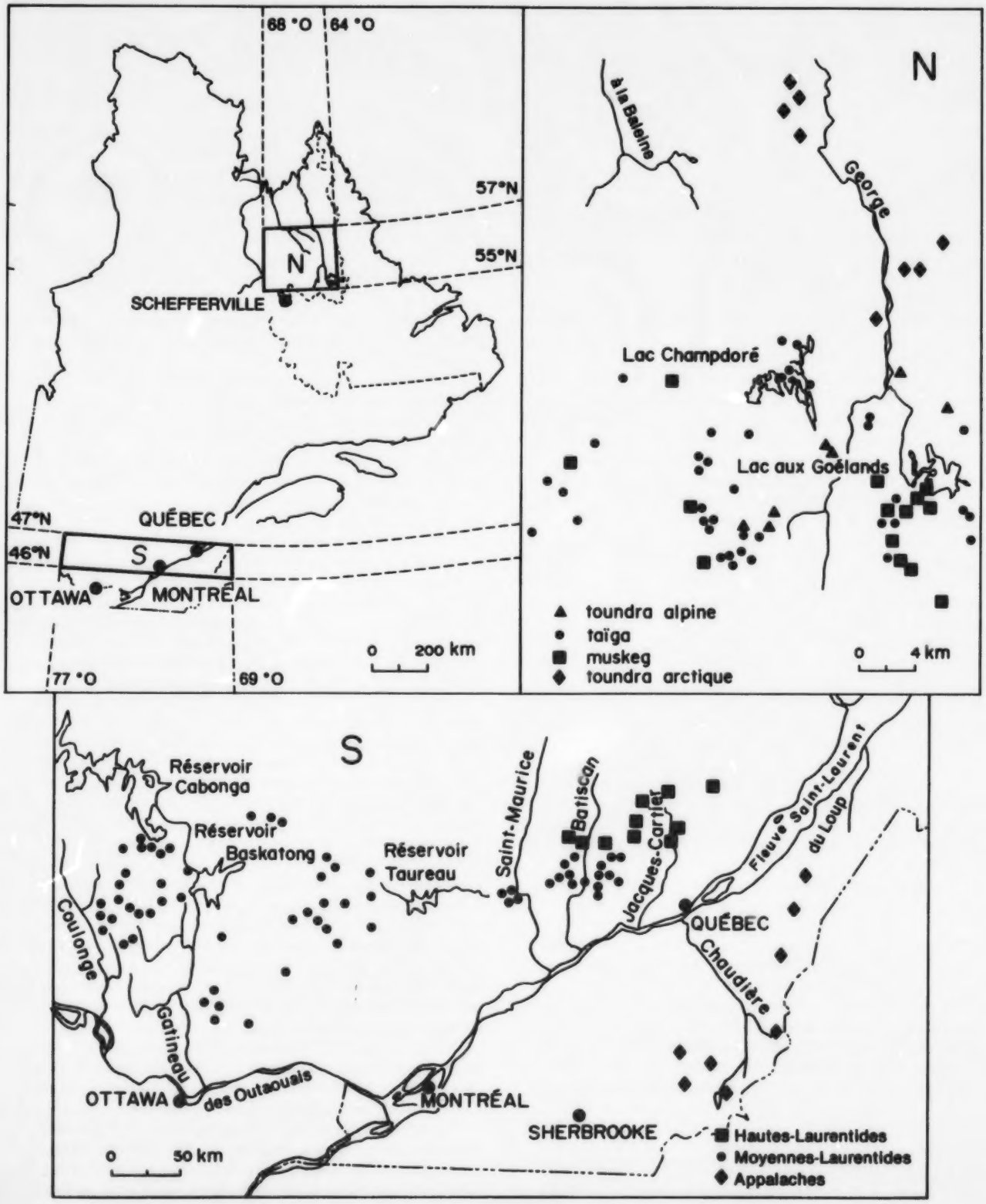
2. Introduction

Il est connu que les dépôts acides sont très néfastes pour l'environnement : ils diminuent la fertilité des sols, endommagent la végétation, abaissent les populations d'invertébrés aquatiques, de poissons et d'amphibiens (Mémorandum d'intention, 1983). Les études des effets des précipitations acides sur les oiseaux sont relativement rares comparativement à celles sur les sujets susmentionnés du fait que les oiseaux ne sont pas directement touchés par l'acidification. Celle-ci influe indirectement sur les oiseaux en contaminant en métaux lourds leurs habitats et en altérant les chaînes alimentaires. Le Service canadien de la faune a entrepris d'examiner les conséquences que pourraient avoir les précipitations acides sur les oiseaux lacustres dans deux régions du Québec particulièrement riches en avifaune : la région tempérée et la région hémi-arctique (*sensu* Rousseau, 1952). Les résultats de cette recherche ont donné lieu à trois études correspondant à trois niveaux trophiques, soit la qualité de l'eau (Rodrigue et DesGranges, 1989), la végétation (objet de la présente étude) et l'avifaune (DesGranges et Houde, présente publication).

Les études sur la végétation lacustre du Québec sont quasi inexistantes, mais la documentation scientifique portant sur la végétation de la section fluviale du Saint-Laurent et sur les tourbières du sud du Québec et de la Jamésie nous renseigne indirectement sur les groupements végétaux lacustres (Couillard et Grondin, 1986). Quelques travaux ont porté sur la végétation lacustre de l'Ontario (Crowder *et al.*, 1977; Vitt et Bayley, 1984) et du nord-est des États-Unis (Hunter *et al.*, 1985). Les effets des dépôts acides sur les plantes lacustres ont été étudiés entre autres par Ferguson *et al.* (1978), qui ont montré que la croissance, le contenu en chlorophylle des sphaignes sont modifiés, de même que par Cowling (1978), qui a trouvé que les feuilles des plantes peuvent subir des lésions lorsque le pH de la pluie baisse sous le seuil de 3,4. L'acidification influence les successions végétales : Hultberg et Grahn (1976) et Grahn (1977) ont corrélé négativement l'étendue de groupements de sphaignes au pH. Hendrey et Vertucci (*dans* Haines, 1981) signalent que les sphaignes accélèrent l'acidification des milieux qui les supportent. Gorham *et al.* (1984) soulignent que l'acidification diminue le nombre d'espèces de sphaignes. Wile *et al.* (1985) ont étudié les macrophytes aquatiques de trois lacs en Ontario : le lac le plus acide contenait moins d'espèces, mais assurait l'exis-

[1]Adresse actuelle : Département de biologie, Université Laval, Cité universitaire, Sainte-Foy (Qué.) G1K 7P4
[2]Adresse actuelle : 1178, des Muguets, Saint-Rédempteur (Qué.) G0S 3B0

Figure 1
Secteurs d'étude



tence d'une plus grande biomasse. Finalement Hunter *et al.* (1985) ont, dans une étude des interactions entre la sauvagine, les poissons, les invertébrés et les macrophytes de quatre lacs du Maine, corroboré les résultats de Wile *et al.* (1985) sauf qu'un de leurs deux lacs alcalins était pratiquement dénudé de végétation.

Comme nous possédons peu d'informations sur l'état physico-chimique et floristique des lacs du Québec avant qu'ils ne soient soumis aux précipitations acides, il s'avère impossible d'établir un bilan de l'effet que ces précipitations ont eu jusqu'à maintenant et de prédire avec certitude l'effet qu'elles auront au cours des prochaines années. Toutefois, comme les lacs québécois présentent divers niveaux d'acidité, on peut présumer que ces niveaux correspondent à des stades d'acidification et les utiliser pour décrire une succession probable de la végétation. Notre étude décrit donc la végétation riveraine et aquatique de 146 lacs et elle tente de relier leur distribution et leur abondance aux caractéristiques régionales des milieux qui assurent leur existence, à la morphométrie et à la qualité de l'eau des lacs ainsi qu'aux variables descriptives des sols riverains, notre but, ce faisant, étant de dégager la part de l'acidité dans l'explication de la distribution de la végétation.

3. Secteurs étudiés

3.1. Choix des lacs

Nous avons choisi 68 lacs dans la zone tempérée du sud du Québec, dans un quadrilatère borné par les 69^e et 77^e degrés de longitude ouest et les 46^e et 47^e degrés de latitude nord (figure 1). Ce quadrilatère possède des lacs de sensibilités à l'acidification variées (Shilts, 1981) et reçoit des précipitations acides dont le pH moyen de 4,4 est 16 fois plus acide que la pluie normale, dont le pH est de 5,6 (Rubec, 1981). Dans la zone hémi-arctique du nord du Québec, le quadrilatère d'étude est borné par les 65^e et 69^e degrés de longitude ouest et les 55^e et 57^e degrés de latitude nord. Ce quadrilatère reçoit des précipitations moins acides (pH $\simeq$ 5,3, soit deux fois plus acide que la pluie normale), mais possède des lacs d'acidité et de sensibilités à l'acidification variées (Dugas, 1970; Potvin et Grimard, 1983).

Nous avons amorcé la procédure du choix des lacs en identifiant à l'aide de cartes topographiques et de photos aériennes les lacs qui répondaient aux conditions suivantes : 1) ne pas comporter d'installations humaines; 2) présenter des habitats ripariens développés et 3) par souci d'uniformité, avoir une superficie d'une vingtaine d'hectares. Nous avons ensuite classé les lacs selon leur pH (voir DesGranges et Houde, présente publication, pour les détails sur l'obtention des mesures du pH) et selon la sensibilité à l'acidification sur une base régionale, c'est-à-dire selon la capacité des sols et de la roche-mère dans les bassins versants à réduire l'acidité amenée par la pluie et la neige (Gilbert *et al.*, 1985). Le choix définitif des lacs s'est appuyé sur une contrainte logistique, soit la proximité de bases d'opération d'hélicoptères. La figure 1 montre les secteurs d'études finalement retenus. La position exacte des lacs dans ces secteurs est décrite dans les rapports de Rodrigue et DesGranges (1989) pour le sud et de Potvin et Grimard (1983) pour le nord du Québec.

3.2. Description des milieux

3.2.1. Zones biologiques

Les lacs étudiés se situent dans deux zones biologiques. Au sud, on se trouve dans la zone tempérée, caractérisée par des forêts denses, couvertes d'une riche végétation arbustive et herbacée. Les forêts du quadrilatère sud de l'étude varient de feuillues à forêts de conifères, selon un gradient latitudinal. Au nord, le quadrilatère d'étude se situe dans la zone hémi-arctique, caractérisée par une mosaïque de parcelles de taïga dans les zones abritées et de parcelles de toundra en milieu exposé. La végétation de la zone hémi-arctique n'est pas un intermédiaire entre la taïga ou le parc aux arbres clairsemés et la toundra ou la prairie gazonnée, mais bien une mosaïque des deux où chaque parcelle garde son originalité (Rousseau, 1952).

Les secteurs d'étude du Québec méridional se partagent en sept écorégions (région géographique caractérisée par un climat distinctif tel qu'exprimé par la végétation), présentant cinq paysages écologiques (portion de territoire caractérisée par une physiographie et une géologie propres) (Jurdant *et al.*, 1977; Gilbert *et al.*, 1985). Aux fins de notre travail, nous avons ramené ceci à trois groupes fonctionnels que nous avons nommés districts naturels. Ce sont : 1) les Appalaches, un massif montagneux jeune, comprenant peu de lacs et de tourbières et des forêts plutôt feuillues; 2) les Moyennes-Laurentides, une portion du Bouclier canadien plutôt montueuse, avec un bon nombre de lacs et de tourbières et des forêts mixtes; et 3) les Hautes-Laurentides, qui se distinguent des Moyennes-Laurentides par un relief plus accidenté, un climat plus rigoureux et des forêts plutôt de conifères.

Les secteurs d'étude du Québec septentrional se situent dans quatre écorégions comprenant quatre paysages écologiques. Étant donné la structure en mosaïque des écosystèmes de ce secteur d'étude, nous avons retenu les quatre paysages écologiques comme districts naturels pour le Québec septentrional. Ces districts naturels ne sont pas au même niveau de classification écologique que ceux du Québec méridional, mais nous croyons qu'ils constituent les groupes les plus fonctionnels dans chaque cas. La taïga, le muskeg ou la tourbière et la toundra alpine apparaissent en mosaïque dans le secteur immédiatement au nord-est de Schefferville alors que la toundra arctique apparaît plus au nord, le long de la rivière George.

3.2.2. Climat

Les normales climatiques de stations météorologiques de chaque district naturel nous fournissent un aperçu du climat des secteurs d'étude (tableau 1). Au sud, le climat est de type humide tempéré-froid selon la classification de Koeppen (Trewartha, 1968). On note que la température moyenne annuelle des Hautes-Laurentides est inférieure de près de 4 °C à celle des autres districts du sud, que la fraction nivale et le nombre de degrés-jours de croissance de ce district, corrélés à la température, donnent aussi lieu à des écarts et que les précipitations y sont supérieures de 40 %. Le pH des précipitations varie de 4,33 à 4,41, des Appalaches vers les Hautes-Laurentides.

Au nord, le climat de toundra (classification de Koeppen) favorise le maintien du pergélisol. Le district de la toundra arctique, plus au nord que les autres, est soumis à une température légèrement plus basse. Par contre les degrés-jours de croissance et la précipitation totale annuelle y sont nettement inférieurs. Le pH moyen des précipitations était de 4,85 en 1982-1983 dans le secteur de Schefferville (tableau 1) comparativement à 5,3 à la fin

Tableau 1
Caractéristiques physiques des districts naturels à l'étude

Variables	Appalaches[a]	Moyennes-Laurentides	Hautes-Laurentides	Taïga	Muskeg	Toundra alpine	Toundra arctique
Température moy. ann. (°C)[b]	3,8	3,5	– 0,4	– 4,8	– 4,8	– 4,8	– 5,4
Précipitations totales (mm)[b]	916	1 050	1 433	769	769	769	594
Fraction nivale (%)[b]	25	26	37	50	50	50	41
pH moyen des précipitations[c]	4,33	4,40	4,41	4,85	4,85	4,85	—
Degrés-jours de croissance (> 5°C)[b]	1 579	1 626	939	614	614	614	524
Région physiographique[d]	Appalaches	Laurentides	Laurentides	Davis	Davis	Davis	Davis
Surfaces d'eau (%)[e]	3	10	3	9	9	9	9
Relief[f]	Montagneux	Hautes-terres ondulées	Hautes-terres ondulées	Moutonné	Plat	Hauts-plateaux	Vallées et plateaux
Sols[f]	Brunisols et podzols	Brunisols et podzols	Podzols	Cryosols	Cryosols	Cryosols	Cryosols

[a]Voir l'explication sur les districts naturels à la section 3.2.1. : Zones biologiques.
[b]Stations météorologiques : Saint-Théophile : Appalaches; Mont-Laurier : Moyennes-Laurentides; Lac Jacques-Cartier : Hautes-Laurentides; Schefferville : taïga, muskeg et toundra alpine; Indian House Lake : toundra arctique (Environnement Canada, 1982).
[c]Moyennes 1982–1983 de Grimard (1984). Données manquantes pour la toundra arctique.
[d]Selon Bostock (1967) *dans* Fremlin (1974).
[e]Selon Fremlin (1974).
[f]Selon Rowe (1972).

des années 1970 (Environnement Canada, 1979 *dans* Rubec, 1981).

3.2.3. Physiographie

Les lacs échantillonnés dans le Québec méridional appartiennent à deux grandes régions physiographiques, séparées par le fleuve Saint-Laurent : les Appalaches et les Laurentides (figure 1 et tableau 1). Les Appalaches sont plutôt montueuses dans notre secteur d'étude et contiennent peu de lacs et à peu près pas de tourbières alors que les Laurentides sont plutôt des hauts-plateaux ondulés contenant plus de lacs et de tourbières que les Appalaches (Couillard et Grondin, 1986). La région écologique des Hautes-Laurentides se distingue de celle des Moyennes-Laurentides par une plus faible occurrence des milieux humides. L'ensemble de ce quadrilatère d'étude est recouvert de till, qui est plutôt carbonaté dans les Appalaches alors que celui des Laurentides ne l'est pas, conférant à celles-ci une plus grande sensibilité à l'acidification (Shilts, 1981).

Le secteur d'étude du Québec septentrional appartient à la région physiographique de Davis. En général, le relief est peu accusé : il est moutonné ou ondulé près de Schefferville alors que plus au nord, de grandes rivières délimitent des vallées et des hauts-plateaux (Couillard et Grondin, 1986). La portion ouest de notre secteur d'étude se trouve dans la fosse du Labrador, qui présente un relief cannelé dû à de nombreux plissements orientés nord-sud.

3.2.4. Sols

Les sols des versants fertiles et bien drainés des Appalaches et des Moyennes-Laurentides appartiennent aux grands groupes des brunisols dystriques et des podzols humo-ferriques alors que ceux des Hautes-Laurentides appartiennent aux podzols ferro-humiques et humo-ferriques. Les crêtes rocheuses supportent des régosols alors que les bas-fonds supportent des sols organiques (Rowe, 1972).

Les sols du nord, caractérisés par un pergélisol quasi uniforme, appartiennent à l'ordre cryosolique. Ce sont des sols instables et mal drainés, du fait de la barrière continue de glace située à moins de 1 m de profondeur.

3.2.5. Végétation

La végétation forestière environnant les lacs du Québec méridional est décrite par Rowe (1972). Le district des Appalaches se situe dans la région forestière des Cantons de l'Est, dont les versants fertiles sont dominés par l'érable à sucre (*Acer saccharum*) et le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*). Les bas-fonds et l'entourage des systèmes lacustres sont dominés par le thuya occidental (*Thuja occidentalis*) et le mélèze laricin (*Larix laricina*). Les Moyennes-Laurentides, qui appartiennent aux régions Laurentienne et Algonquin-Pontiac, sont aussi dominées par l'érable à sucre et le bouleau jaune, mais leurs bas-fonds sont plutôt colonisés par l'épinette noire (*Picea mariana*). Les Hautes-Laurentides, appartenant à la région Laurentides-Onatchiway, sont nettement plus boréales : le sapin baumier (*Abies balsamea*) et l'épinette blanche (*Picea glauca*) dominent les flancs des collines alors que l'épinette noire occupe les bas-fonds (Rowe, 1972).

Les tourbières des Appalaches, qui occupent moins de 1 % du territoire, se présentent comme des petits bogs uniformes à éricacées, sphaignes et épinette noire. Celles des Laurentides, occupant près de 5 % du territoire, se présentent comme des bogs uniformes et quelquefois comme des fens (Couillard et Grondin, 1986). Les systèmes riverains, qui se distinguent des tourbières par le fait qu'ils sont soumis périodiquement à des inondations causées par le débordement de plans d'eau, n'ont à peu près pas été décrits jusqu'à maintenant. Leur végétation diffère souvent de celle des tourbières, surtout lorsqu'elle repose sur des gleysols ou des régosols.

La végétation du Québec septentrional se présente comme une mosaïque de parcelles de taïga, à caractère subarctique et de parcelles de toundra, à caractère arctique. La taïga constitue une forêt ouverte où des épinettes noires rabougries se dressent sur un tapis de lichens ou de sphaignes, selon que le sol est sec ou humide. La toundra constitue une prairie sans arbres ni conifères arbustifs et elle se trouve sur les sites élevés et secs. C'est essentiellement un tapis lichénique auquel s'ajoutent quelques mousses, arbustes et plantes phanérogames (Rousseau, 1952). Les tourbières de notre secteur nord d'étude font partie de deux régions selon Couillard et Grondin (1986). La région du Plateau du Nouveau-Québec et de la Rivière George, à l'est de la rivière à la Baleine, est relativement pauvre en tourbières (< 5 %). Ce sont surtout des tourbières palsiques. Une concentration de fens avec mares se trouve dans le secteur du lac aux Goélands. La région des Collines du Labrador, à l'ouest de la rivière à la Baleine, contient 6–10 % de tourbières, dont surtout des fens de physionomies diverses (Couillard et Grondin, 1986).

3.2.6. Qualité de l'eau

La qualité de l'eau de nos lacs a fait l'objet des études de Rodrigue et DesGranges (1989) pour le Québec méridional et de Potvin et Grimard (1983) pour le Québec septentrional (figure 2, DesGranges et Houde, présente publication, p. 10). Dans le sud du Québec, la sensibilité des lacs aux précipitations acides et l'acidité de l'eau augmentent d'est en ouest et c'est dans les Moyennes-Laurentides qu'on trouve les lacs de pH inférieur à 5,5; les autres districts ont des pH de 5,6 à 6,5. Les lacs oligotrophes et oligo-mésotrophes, c'est-à-dire les moins productifs, se situent au nord-ouest de la ville de Québec alors que les méso-eutrophes, les plus productifs, se trouvent dans les Appalaches. La plupart des lacs sont moyennement dystrophes.

Au nord, les lacs acides (n = 7, pH 3,2–4,5) et les lacs alcalins (n = 8, pH 7,8–8,7) se situent exclusivement dans la taïga. Les lacs neutres (n = 54) se répartissent dans les 4 districts naturels. Les lacs neutres de toundra sont les moins productifs et ceux de muskeg et de taïga sont les plus productifs. Les lacs acides et les lacs alcalins sont très productifs.

4. Méthodes

Dans les lignes qui suivent, nous utilisons indistinctement les termes *aquatique* et *limnophytique* pour désigner la végétation inondée en «permanence», c'est-à-dire pendant plus de 50 % de la saison de croissance, seuil proposé par Gauthier (1979 *dans* Couillard et Grondin, 1986). Les termes *riverain* et *hélophytique* désignent la végétation inondée temporairement. La nomenclature utilisée pour les plantes vasculaires est celle de Marie-Victorin (1964) alors que celle de Crum *et al.* (1973) sert pour les bryophytes.

4.1. Description générale des lacs

Plusieurs données ont été obtenues par consultation de documents : l'altitude du lac a été lue sur des cartes topographiques à l'échelle 1:50 000 et la superficie, l'indice de développement du rivage (*sensu* Joyner, 1980) et l'indice de réticulation (tableau 2) ont été calculés à partir de photos aériennes à l'échelle 1:15 000. La pente de la beine, définie comme la pente moyenne de la zone s'étendant de la ligne des basses eaux à la ligne de 6 m de profondeur, a été évaluée selon l'échelle ordinale de Jurdant *et al.* (1977). La profondeur maximale du lac a été mesurée par Rodrigue et DesGranges (1989) et Potvin et Grimard (1983).

4.2. Qualité de l'eau

La description complète des études de qualité de l'eau des lacs, réalisée en collaboration avec le ministère de l'Environnement du Québec, est fournie par Rodrigue et DesGranges (1989) et Potvin et Grimard (1983). Leurs résultats servent ici à mettre en relation la qualité de l'eau et la végétation.

4.3. Végétation aquatique

Les campagnes d'échantillonnage ont eu lieu du 26 mai au 22 juin 1980 et du 26 mai au 28 juin 1982 pour les lacs du sud, et du 18 juin au 12 juillet 1981 pour ceux du nord. Ces dates sont un peu hâtives, si l'on considère la phénologie des plantes aquatiques, mais certaines contraintes logistiques nous obligeaient à faire coïncider les inventaires de végétation avec les relevés d'avifaune.

L'inventaire de la végétation de chaque lac fut réalisé comme suit : nous localisions d'abord sur une carte les herbiers d'au moins 50 m² de surface en survolant le lac en hélicoptère. Nous mettions une embarcation à l'eau pour ensuite effectuer un échantillonnage selon la méthode Braun-Blanquet (1932) en parcourant des transects perpendiculaires à la rive. Nous sillonnions ensuite les zones où aucun herbier n'avait été localisé en examinant le fond avec un aquascope. Nous avons utilisé un télémètre pour préciser la cartographie des herbiers. Pour chaque herbier, nous nous sommes limités aux espèces dominantes possédant au moins 5 % de recouvrement. En général, les herbiers se présentaient comme des colonies pures ou des colonies de deux espèces. Au total, nous avons échantillonné 224 herbiers sur les lacs du sud et 103 herbiers sur ceux du nord.

Nous avons aussi calculé le pourcentage de recouvrement de cinq groupes fonctionnels d'espèces, soit l'ensemble des plantes hélophytiques, l'ensemble des plantes limnophytiques, et les plantes limnophytiques émergées, submergées et flottantes, en vue de corréler ces groupes aux oiseaux.

4.4. Végétation riveraine

Nous avons utilisé deux méthodes d'échantillonnage correspondant à deux types de relevés d'avifaune. En 1980, le relevé de l'avifaune de chaque lac était réalisé par des observateurs se déplaçant en chaloupe, qui recensaient tous les individus de la bande riveraine. Notre étude de la végétation consistait en une cartographie écologique de celle-ci. Nous délimitions d'abord sur une photo aérienne à grande échelle les unités morphologiques de végétation selon une classification inspirée de celle de Grondin et Ouzilleau (1980). Sur le terrain, nous dressions les profils physionomique et floristique d'une place-échantillon carrée de 16 m², située au centre de chaque unité. Pour établir le profil physionomique, il suffisait de préciser l'unité morphologique et de noter l'abondance de chicots, c'est-à-dire les arbres morts qui, dans le sud du Québec, restent debout dans la zone riveraine et servent de perchoirs aux oiseaux et de supports pour leurs nids. Nous dressions le profil floristique en énumérant les taxons d'au moins 5 % de recouvrement et en leur attribuant des cotes d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (1932). Les données floristiques furent colligées sur un tableau phytosociologique qui permit la délimitation de groupements selon la méthode de Braun-Blanquet (1932). Plus d'une trentaine de groupements furent obtenus dans chaque secteur d'étude. Vu le grand nombre de groupements et la rareté de certains d'entre eux, nous avons procédé à des regroupements supplémentaires sur la base des communautés aviennes pour ne retenir qu'une douzaine de groupements.

Tableau 2
Définition de l'indice de réticulation[a]

Variables	États	Points
1. Configuration de la rive	a. rectiligne	1
	b. échancrée	2
	c. découpée, présence d'îlots flottants	3
2. Zones inondables	a. peu importantes	1
	b. importantes	2
3. Ruisseaux	a. peu nombreux, rectilignes et étroits	1
	b. peu nombreux, sinueux et peu ramifiés	2
	c. nombreux (≥ 3), sinueux et très ramifiés	3

[a]Indice de réticulation (I) = Σ points ÷ 3, où I est arrondi au plus proche entier. Les valeurs de I sont qualifiées comme suit : 1 = faible, 2 = moyen et 3 = élevé.

En 1981 et 1982, nous avons modifié le type de relevé de façon à augmenter le nombre de lacs visités : notre relevé visait trois parcelles circulaires de 100 m de rayon sur la bande riveraine de chaque lac. Nous avons modifié notre étude de la végétation en limitant nos places-échantillons de végétation aux unités morphologiques des parcelles de relevés d'avifaune. Les portions des parcelles de relevés d'avifaune qui s'étendaient en forêt, hors de la bande riveraine, ne furent pas cartographiées.

4.5. Sols riverains

Dans chaque place-échantillon de végétation, nous avons pris un échantillon de sol dans la rhizosphère, à une profondeur de 20–40 cm et avons mesuré l'épaisseur minimale de la matière organique jusqu'à 1 m de profondeur. Les échantillons de sols furent congelés en prévision de leur acheminement au laboratoire où ils furent séchés à l'air, puis broyés.

Le pH fut mesuré dans l'eau (1:2). La mesure par perte au feu du pourcentage de matière organique permit le calcul du pourcentage de carbone organique. Le dosage de l'azote total fut effectué selon la méthode macro-Kjeldahl et les cations échangeables (Ca^{++}, K^{+}, et Mg^{++}), extraits par élution au sulfate d'ammonium, furent dosés au spectromètre à absorption.

4.6. Traitement des données

Nous avons établi trois paires de matrices de données correspondant aux données biophysiques des lacs, à la végétation aquatique de ces lacs et aux places-échantillons de végétation riveraine pour le sud et le nord. Les matrices biophysiques des 78 lacs du sud et des 68 lacs du nord comprenaient 26 variables, soit 6 variables éco-géographiques, 5 morphométriques, 10 physico-chimiques, 4 biologiques relatives à la qualité de l'eau et 1 pédologique (annexes 1 et 2). Les matrices de végétation aquatique du sud et du nord regroupaient respectivement 63 et 43 taxons. Les matrices des 1 025 places-échantillons de végétation riveraine du sud et des 932 places-échantillons du nord comprenaient 14 variables, soit le régime trophique et l'unité morphologique (*sensu* Grondin et Ouzilleau, 1980), le groupement taxonomique, sa superficie, la présence-absence de ruisseaux et 9 descripteurs du sol (annexes 3 et 4).

Étant donné l'abondance et la variété des descripteurs des échantillons, nous avons effectué une rationalisation de la matrice des données. Dans une première étape, il s'agissait de ramener les descripteurs à un type commun : ainsi si une analyse devait porter simultanément sur des variables qualitatives (p.ex. la présence d'une espèce), des variables ordonnées semi-quantitatives (p.ex. les classes d'abondance de Braun-Blanquet) et des variables quantitatives (p.ex. l'altitude), nous classions les variables quantitatives et ainsi de suite. Le classement fut effectué en considérant la structure de l'échantillon, la distribution des variables et la connaissance des seuils biologiques naturels.

Dans une deuxième étape, nous avons procédé à la corrélation des variables de chaque champ d'étude pour évaluer la redondance possible entre certaines d'entre elles ainsi que leur contenu informatif. Cette mise en relation fut réalisée au moyen de l'analyse factorielle des correspondances (ANAFACOR). Cette méthode d'ordination, établie initialement pour l'analyse de tableaux de contingence (i.e. variables en classes) (Benzécri, 1973; Hill, 1974), offre l'avantage de permettre la représentation simultanée des proximités entre des espèces et des variables environnementales. Elle est particulièrement adaptée au contexte biologique où les variables ne sont pas toujours linéaires (Austin, 1976; Fasham, 1977; Gauch *et al.*, 1977). Les variables mal distribuées et certaines variables corrélées à d'autres plus informatives furent éliminées à la lumière des ANAFACOR utilisées pour la rationalisation. En général, les variables retenues furent les mêmes pour le sud et le nord. Les annexes 1 à 4 présentent les matrices de départ de ces analyses à une différence près : les ANAFACOR ont été réalisées à partir des données brutes (nombre de lacs) tandis que dans les annexes, les données sont exprimées en pourcentages des lacs.

Pour l'analyse des groupes de plantes aquatiques, nous avons utilisé la méthode de groupement par agglomération hiérarchique à liens complets. Le coefficient de similarité de Jaccard (1900, *dans* Legendre et Legendre, 1979) fut utilisé pour les logarithmes des pourcentages de recouvrement des espèces ou taxons apparaissant dans au moins cinq lacs. Les espèces présentes dans moins de cinq lacs furent éliminées.

5. Résultats

5.1. Caractéristiques générales des lacs

Les lacs étudiés dans le Québec méridional se distinguent par une grande variation d'altitude, soit de 213 à 914 m, (médiane [Me] = 360 m, voir la figure 3 de DesGranges et Houde, présente publication, p. 11). Ceux des Appalaches et des Hautes-Laurentides sont en général plus élevés que ceux des Moyennes-Laurentides. La superficie médiane de l'ensemble des lacs est de 14 ha. Ceux des Appalaches et des Hautes-Laurentides sont en général plus grands que ceux des Moyennes-Laurentides (Me = 23 et 17 ha c. 12 ha). Les variables de profondeur et d'indice de développement du rivage montrent des valeurs systématiquement plus basses pour les Appalaches que pour les Laurentides. Le rivage des lacs du sud présente un niveau «moyen» de réticulation. Parmi ceux-ci, les lacs des Appalaches se distinguent par le fait que la moitié d'entre eux sont très réticulés. La distribution des valeurs de pente de la beine est uniforme d'un district naturel à l'autre, une moitié des lacs montrant une pente faible et l'autre, une pente modérée. Le pH de nos lacs du sud varie de 4,4 à 8,5, avec une médiane de 6,2. Le pH des lacs des Appalaches est en général plus élevé que celui des lacs des Laurentides : 75 % des premiers ont un pH supérieur à 6,4 contre seulement 25 % pour les seconds.

L'altitude des lacs du nord varie de 351 à 580 m (Me = 480 m). Les lacs de toundra arctique se situent à des niveaux inférieurs à ceux des lacs des trois autres districts avec une altitude médiane de 381 m et un 3e quartile de 464 m. La superficie varie de 3 à 76 ha, mais la moitié des lacs se situent entre 15 et 35 ha et les quatre districts présentent sensiblement la même distribution de superficie. Les lacs sont en général peu profonds, 75 % d'entre eux ayant 2 m ou moins de profondeur et les exceptions se situant dans la taïga et la toundra arctique. L'indice de développement du rivage varie de 1,05 à 2,94 (Me = 1,28) et les médianes des quatre districts sont semblables (1,27–1,32). En comparaison, l'indice de réticulation s'avère moins constant : les rivages de lacs de muskeg sont très réticulés, ceux de taïga et de toundra arctique le sont moyennement et ceux de toundra alpine le sont peu. La pente de la beine est tantôt faible (50 % des lacs), tantôt modérée. Le pH oscille de 3,0 à 8,6 (Me = 6,4) dans les lacs de taïga alors qu'il se maintient entre 6,1 et 7,4 dans les autres districts.

5.2. Végétation aquatique

La distribution de la végétation aquatique résulte d'un ensemble de facteurs interreliés et la mesure de l'effet de l'acidité s'avère difficile lorsqu'on procède à partir d'observations sur le terrain. Pour la présente étude, nous avons choisi de procéder comme suit : nous avons identifié quatre groupes de variables régissant la distribution des groupements aquatiques : les variables éco-géographiques, morphométriques, physico-chimiques et de la productivité biologique du lac (annexes 1 et 2). Nous avons ensuite réalisé quatre ANAFACOR pour trouver les variables les plus explicatives de chaque catégorie avant d'effectuer une ANAFACOR-«synthèse» pour les comparer avec l'acidité. Les sections qui suivent présentent d'abord les groupements de végétation aquatique des deux régions d'étude puis les résultats de l'ANAFACOR les reliant aux variables éco-géographiques et enfin l'ANAFACOR-«synthèse» les comparant avec l'acidité. Les résultats des trois séries d'analyses corrélant les groupements aux variables morphométriques, physico-chimiques et de la productivité biologique ne sont pas présentés ici, étant donné que les variables les plus informatives de chaque série sont reprises dans l'ANAFACOR-«synthèse».

5.2.1. Composition des groupements

Nous avons délimité neuf groupes pour le sud et cinq groupes pour le nord, en nous fondant sur les seuils de similarité correspondant le plus à la séparation visuelle des groupes sur les dendrogrammes (Laven, 1982; Darveau et Bellefleur, 1984). Il est à noter par ailleurs que 2 lacs du sud et 20 lacs du nord apparaissaient dénudés de végétation.

Le groupement le plus fréquent au sud est dominé par *Nuphar variegatum* et *Sparganium eurycarpum*. Présent dans 43 de nos 78 lacs et formant 19 % des herbiers, ce groupement apparaît en général comme clairsemé et comprend souvent des plages de *Nuphar rubrodiscum*, de *Potamogeton* sp. et de *Sparganium* sp. *Typha latifolia* apparaît parfois au contact de la zone riveraine. Le deuxième groupement en importance (36 lacs, 16 % des stations) est une mosaïque d'herbiers d'*Eleocharis Smallii* et de *Brasenia Schreberi*. Les principales espèces compagnes sont : *Sparganium americanum, Nuphar microphyllum, Potamogeton natans, Dulichium arundinaceum*. Le troisième groupement (31 lacs, 14 % des stations), est dominé par *Eriocaulon septangulare*, accompagné d'*Utricularia vulgaris*, d'*Isoetes Braunii* et de *Sparganium* sp., qui tapissent les hauts-fonds. Des macrophytes à feuilles larges et flottantes des genres *Brasenia, Nuphar* et *Nymphaea* jonchent ce groupement. Le quatrième groupement (26 lacs, 12 % des stations) est un herbier à *Dulichium arundinaceum* et algues, accompagnés sporadiquement de *Sparganium* sp. et de *Carex* sp. au contact de la zone hélophytique.

Quatre autres groupements à *Sparganium* sont moins fréquents. Ce sont : le groupement à *Sparganium eurycarpum* et *Potamogeton epihydrus* (17 lacs, 8 % des stations), celui à *Sparganium fluctuans* et *Potamogeton Oakesianus* (12 lacs, 5 % des stations), celui à *Sparganium angustifolium* et *Eleocharis uniglumis* (15 lacs, 7 % des stations) et celui à *Sagittaria latifolia* accompagné sporadiquement de *Sparganium* sp. (7 lacs, 3 % des stations). Le dernier groupement est constitué de peuplements purs et très denses d'*Utricularia vulgaris* (19 lacs, 8 % des stations).

Les cinq groupements du nord apparaissent comme des peuplements presque purs et se trouvent seulement sur un petit nombre de lacs. Les deux premiers sont des groupements muscinaux : d'abord celui à *Drepanocladus exannulatus* (quatre lacs) accompagné de *Cladopodiella fluitans*, puis celui à *Scorpidium scorpioides* (sept lacs). Les autres sont des groupements de plantes vasculaires : le groupement à *Hippuris vulgaris* (trois lacs), celui à *Menyanthes trifoliata* (cinq lacs) et celui à *Potamogeton filiformis* Pers. (quatre lacs). D'autres espèces ayant été trouvées une seule fois, chacune formant un peuplement important sur un lac particulier, nous n'avons pu les associer aux cinq groupements. Ce sont : *Potamogeton alpinus* (30 % de recouvrement), *Sphagnum Lindbergii* (39 % de recouvrement) et une algue du genre *Nitella* (36 % de recouvrement).

Outre les groupements taxonomiques, nous avons établi des groupements fonctionnels de plantes aquatiques basés sur leur physionomie et sur leur accessibilité pour les oiseaux aquatiques. Nous avons donc mesuré le pourcentage de recouvrement des plantes submergées, flottantes et émergées. Le profil moyen d'un lac du sud peut être décrit de la façon suivante selon ces groupements : c'est un lac dont le fond est recouvert à 20 % de végétation, dont 42 % de végétation submergée, 27 % de végétation flottante et 31 % de végétation émergée. Le lac moyen du nord possède la moitié de cette végétation aquatique, soit 10 % de recouvrement. Les proportions des trois groupes fonctionnels n'ont pas été évaluées pour les lacs du nord.

5.2.2. Régionalisation des groupements

Nous avons mis en relation les neuf groupements taxonomiques du Québec méridional avec neuf variables d'états décrivant l'écorégion, l'altitude et la sensibilité de la roche-mère à l'acidification. La méthode utilisée était l'analyse factorielle des correspondances (ANAFACOR). Les trois premiers axes correspondent à 97 % de la variance, ce qui exprime une très bonne adéquation des variables et des groupes de végétation (annexe 5).

Le premier axe (60 % de la variance) représente surtout l'altitude élevée et les écorégions des Hautes-Laurentides et des Appalaches corrélés positivement, et l'altitude moyenne de l'Outaouais, corrélée négativement. Le deuxième axe (31 % de la variance) sépare les écorégions des Appalaches et des Hautes-Laurentides. La sensibilité à l'acidification n'explique rien dans cette analyse. Les groupements à *Sparganium fluctuans–Potamogeton Oakesianus* et à *Sparganium angustifolium–Eleocharis uniglumis*, corrélés positivement au premier axe, s'associent à la haute altitude et aux écorégions des Hautes-Laurentides et des Appalaches. Les groupements à *Eleocharis Smallii–Brasenia Schreberi*, à *Dulichium arundinaceum*–algues et à *Eriocaulon septangulare*, corrélés négativement au premier axe, s'avèrent plutôt représentatifs de l'Outaouais. Le groupement à *Sparganium eurycarpum–Potamogeton epihydrus*, corrélé positivement au deuxième axe, est commun dans les Appalaches et évite les Hautes-Laurentides alors que ceux à *Utricularia vulgaris* et à *Sagittaria latifolia*, corrélés négativement, réagissent à l'inverse. Le groupement à *Nuphar variegatum–Sparganium eurycarpum* est ubiquiste.

Nous avons aussi corrélé les cinq groupements de végétation aquatique du Québec septentrional aux variables régionales décrivant la sous-zone et l'écorégion, l'altitude et la sensibilité de la roche-mère à l'acidification (annexe 5). Les trois facteurs principaux de cette ANAFACOR correspondent à 97 % de la variance totale. Le premier facteur (57 % de la variance) distingue la sous-zone montagnarde, corrélée positivement, des sous-zones supérieure et inférieure, corrélées négativement. L'écorégion Rivière George, associée à ces deux sous-zones, contribue aussi au premier facteur. Le deuxième

facteur (29 % de la variance) représente surtout la sensibilité à l'acidification alors que le troisième (11 % de la variance) correspond à l'altitude. Plus de 75 % de la variance de trois groupements est expliquée par le facteur principal : les groupements à *Menyanthes trifoliata* et à *Hippuris vulgaris*, corrélés positivement, sont exclusifs à la sous-zone montagnarde alors que le groupement à *Scorpidium scorpioides*, corrélé négativement, en est quasi absent. Les groupements à *Potamogeton filiformis* et à *Drepanocladus exannulatus* apparaissent plutôt dans les zones très sensibles à l'acidification.

5.2.3. Effet de l'acidité

L'analyse factorielle synthèse, pour le Québec méridional, permet de comparer les neuf groupements déjà décrits à cinq variables : la profondeur du lac, l'indice de réticulation du rivage, le pH, le calcium et la chlorophylle «a» de l'eau. Les trois premiers facteurs correspondent à 88 % de la variance totale (annexe 5). Le facteur principal (52 % de la variance) ordonne les groupements selon un gradient des lacs peu acides et très peu profonds vers les lacs acides et peu profonds. Le deuxième axe (26 % de la variance) exprime surtout un gradient selon la teneur en calcium et le troisième distingue les lacs peu profonds à rivage réticulé des lacs présentant des caractéristiques contraires. Sept des neuf groupements réagissent fortement au premier axe : les groupements à *Sagittaria*, à *Eleocharis-*

Tableau 3
Groupements taxonomiques de végétation riveraine du Québec méridional

Groupements taxonomiques	Occurrence (%, n = 1 025)	Morphologie et régime trophique[a]	Espèces dominantes et sous-dominantes
Quenouillaie	3	Tachetaie à arbustes et quenouilles (M)	*Typha latifolia* *Carex* sp. *Myrica gale* *Alnus rugosa*
Cariçaie	25	Herbaçaie uniforme (M)	*Carex rostrata* *Carex stricta* *Carex* sp.
Myriçaie	6	Arbustaie moyenne (M)	*Myrica gale* *Spiraea latifolia* Borkh. *Cornus stolonifera* *Carex* sp. *Sphagnum* sp.
Myriçaie à chamédaphné	13	Arbustaie moyenne (M)	*Myrica gale* *Chamaedaphne calyculata* *Kalmia polifolia* *Carex* sp. *Sphagnum* sp.
Chamédaphnaie à myrique	15	Arbustaie moyenne (O)	*Chamaedaphne calyculata* *Myrica gale* *Kalmia polifolia* *Carex* sp. *Sphagnum* sp.
Chamédaphnaie	10	Arbustaie moyenne (O)	*Chamaedaphne calyculata* *Sphagnum* sp. *Kalmia polifolia* *Andromeda glaucophylla* *Carex* sp.
Mélézin à chamédaphné et myrique	9	Tachetaie à arbustes et conifères (M)	*Larix laricina* *Chamaedaphne calyculata* *Myrica gale* *Kalmia polifolia* *Carex* sp. *Sphagnum* sp.
Pessière noire à chamédaphné	2	Tachetaie à arbustes et conifères (M)	*Chamaedaphne calyculata* *Picea mariana* *Sphagnum* sp. *Kalmia polifolia* *Andromeda glaucophylla* *Ledum groenlandicum* *Carex* sp.
Bétulaie blanche riparienne	3	Arbustaie haute (M)	*Betula papyrifera* *Chamaedaphne calyculata* *Myrica gale* *Carex* sp. *Sphagnum* sp. *Kalmia polifolia*
Aulnaie à myrique	4	Arbustaie haute (M)	*Alnus rugosa* *Myrica gale* *Carex* sp. *Spiraea latifolia* *Sphagnum* sp.
Aulnaie à carex	10	Arbustaie haute (M)	*Alnus rugosa* *Carex* sp. *Calamagrostis canadensis* *Thalictrum pubescens*

[a]Régime trophique : M = minérotrophe et O = ombrotrophe.

Brasenia et à *Sparganium-Eleocharis*, corrélés positivement, colonisent les lacs les moins acides et les moins profonds alors que les groupements à *Utricularia*, à *Sparganium eurycarpum-Potamogeton epihydrus*, à *Dulichium*-algues et à *Eriocaulon* s'associent aux lacs plus acides et plus profonds (annexe 5). La teneur en calcium influence trois groupements : celui à *Sparganium-Eleocharis* colonise les lacs à faible teneur en calcium et ceux à *Sparganium fluctuans-Potamogeton Oakesianus* et à *Nuphar-Sparganium* réagissent à l'inverse. Ces deux derniers groupements se distinguent sur le troisème axe par l'indice de réticulation et la profondeur du lac.

L'ANAFACOR des groupements aquatiques du Québec septentrional concentre toute la variance dans les trois axes principaux, mais aucun n'exprime une contribution significative de l'acidité (annexe 5). Cela est dû au fait qu'aucun des cinq groupements retenus pour l'analyse (i.e. présents sur au moins cinq lacs) n'apparaissait sur les lacs acides et que nous avons dû retirer la variable d'état PH1 de l'analyse. Cette ANAFACOR permet de cerner les autres variables qui régissent la distribution des groupements. Les deux premiers axes (67 et 29 % de la variance) expriment la teneur en calcium et l'indice de réticulation alors que le troisième signifie la chlorophylle «a». Les groupements à *Drepanocladus*, à *Hippuris* et à *Menyanthes* sont associés aux lacs à faible teneur en calcium et à rivage réticulé alors que ceux à *Scorpidium* et à *Potamogeton* sont trouvés sur les lacs présentant les caractéristiques contraires.

5.3. Végétation riveraine

5.3.1. Composition des groupements

Nous avons identifié six unités morphologiques ou physionomiques de végétation riveraine (*sensu* Grondin et Ouzilleau, 1980) pour le Québec méridional. Ces six unités morphologiques se composaient de 11 groupements taxonomiques. Le tableau 3 décrit sommairement ces groupements et établit leur correspondance avec les unités morphologiques. La relation entre ces groupements et des associations végétales décrites par d'autres auteurs est discutée à la section 6.

Quant à la végétation riveraine du Québec septentrional, nous avons distingué 11 unités morphologiques composées de 11 groupements taxonomiques. Leur description se trouve au tableau 4.

5.3.2. Régionalisation des groupements

Nous avons mis en relation les 11 groupements taxonomiques du sud du Québec aux variables suivantes : écorégion, paysage écologique, altitude et sensibilité de la roche-mère à l'acidification (annexe 6). Les trois facteurs principaux expliquent 85 % de la variance totale. Le premier facteur (43 % de la variance) exprime l'écorégion Baskatong et le paysage écologique de la forêt de conifères dans la portion positive de l'axe et la forêt feuillue, l'écorégion de l'Outaouais et la sensibilité moyenne à l'acidification dans la portion négative de l'axe. Le second facteur (29 % de la variance) sépare le Baskatong et l'Outaouais des régions de haute altitude des Appalaches et des Hautes-Laurentides. Le troisième axe (13 % de la variance) oppose les Hautes-Laurentides aux Appalaches. Le groupement à quenouilles compte parmi les groupements les plus rares et les moins bien distribués : il est surtout associé aux forêts feuillues des Appalaches et un peu aux Moyennes-Laurentides et à l'Outaouais. La cariçaie, la chamédaphnaie à myrique et la myriçaie à chamédaphné constituent les groupements les plus abondants et les mieux distribués. Notons que la chamédaphnaie à myrique apparaît dans la moitié des stations des Appalaches. L'axe 1 montre un gradient des groupements à chamédaphné vers ceux à myrique. La myriçaie et la chamédaphnaie, assez fréquentes, sont toutefois absentes des Appalaches. Dans les quatre autres régions, elles semblent s'associer aux paysages écologiques : la chamédaphnaie est plus commune en milieu de conifères alors que la myriçaie l'est plus en milieu feuillu. Le mélézin à chamédaphné et myrique est absent des Hautes-Laurentides et commun dans les Appalaches. Il est un élément commun du paysage «anneau de conifères puis feuillus». L'aulnaie à myrique, peu fréquente, se trouve surtout dans les forêts feuillues des Appalaches. L'aulnaie à carex, la pessière noire à chamédaphné et la bétulaie blanche riveraine se présentent comme des groupements associés aux hautes régions des Appalaches et des Hautes-Laurentides.

L'ANAFACOR des groupements taxonomiques et des variables régionales du Québec septentrional correspond à 95 % de la variance totale (annexe 6). Le premier axe (72 % de la variance) exprime essentiellement les particularités des paysages écologiques de toundra. Le second axe (18 % de la variance) caractérise les paysages de toundra alpine et de muskeg par rapport à l'altitude et à la sensibilité à l'acidification. Le troisième axe explique peu de variance (5 %). En gros, cette ANAFACOR répartit les groupements en trois catégories : les groupements exclusifs à la toundra, ceux exclusifs à la taïga et au muskeg et ceux qu'on trouve partout. La lichénaie et la bétulaie glanduleuse sont typiques de la toundra alors que le mélézin à épinette noire et sphaignes, le mélézin à bouleau glanduleux et la saulaie sont typiques du muskeg et de la taïga. La cariçaie pure est parfaitement ubiquiste; des trois cariçaies à espèces ligneuses, celle à bouleau glanduleux est typique de la toundra tandis que la cariçaie à mélèze et celle à épinette noire sont caractéristiques de la taïga et du muskeg.

5.3.3. Relation avec les sols

Les caractéristiques générales des sols riverains sont présentées par district naturel (voir la figure 4, DesGranges et Houde, présente publication, p. 12). Les données relatives aux districts du sud indiquent des sols assez semblables quant à l'azote total, au pH et à la teneur en cations échangeables. Le pourcentage de matière organique semble plus variable dans les Hautes-Laurentides, avec des écarts quartiles de 68 % contre 25 % et 34 % pour les autres districts. Les données relatives aux districts du nord indiquent elles aussi des sols assez semblables. Toutefois les districts de toundra présentent une teneur en azote et en matière organique plutôt variable, différant de la taïga et du muskeg qui ont des teneurs élevées. Les teneurs en magnésium et en calcium sont relativement basses dans les sols de toundra arctique.

L'ANAFACOR corrélant les groupements du Québec méridional aux variables pédologiques correspond à 94 % de la variance totale (annexe 6). Le facteur principal (77 % de la variance) exprime nettement un gradient des sols très acides et à pourcentage de matière organique élevé vers les sols montrant les caractéristiques opposées. Le deuxième facteur (11 % de la variance) sépare les sols selon leur teneur en calcium et en magnésium. Le troisième facteur (6 % de la variance) révèle une discrimination selon la teneur en azote. Quatre groupements colonisent les sols riverains acides et riches en matière organique : la chamédaphnaie à myrique, la chamédaphnaie pure, le mélézin à chamédaphné et myrique et

la pessière noire à chamédaphné. Deux groupements sont ubiquistes : la myriçaie pure et la myriçaie à chamédaphné, cette dernière préférant les sols riches en calcium et en magnésium. La cariçaie et l'aulnaie à carex s'associent aux sols peu acides à matière organique moins abondante. La distribution de la quenouillaie est peu décrite dans notre analyse : c'est un groupement rare, qui pourrait préférer les sols plutôt acides, à forte teneur en azote, en calcium et en magnésium.

Quant aux groupements et aux sols du secteur septentrional, leur ANAFACOR (annexe 6) exprime 94 % de la variance totale, mais les relations végétation-sol sont moins évidentes que dans l'analyse du secteur méridional. Le premier axe (66 % de la variance) dénote un gradient des sols à faible teneur en azote, en calcium et en matière organique vers les sols azotés. Le second axe (20 % de la variance) exprime surtout la teneur en matière organique et dans une certaine mesure un pH très acide. Le troisième axe (8 % de la variance) révèle un gradient de teneur en magnésium. Cinq groupements, soit la bétulaie glanduleuse, la lichénaie, la bétulaie glanduleuse à épinettes, le mélézin à épinette noire et sphaignes et la cariçaie à bouleau glanduleux sont typiques des sols à faible teneur en azote, en matière organique et en calcium. À l'opposé, la cariçaie pure, la cariçaie à mélèze et la saulaie colonisent les sols riches en azote et en matière organique. Le pH, qui contribue peu aux facteurs principaux, est plutôt acide dans les stations abritant les cinq premiers groupements alors qu'il l'est moins pour les trois derniers. Le mélézin à bouleau glanduleux semble peu relié aux variables que nous avons mesurées. Les sols supportant la pessière noire à sphaignes et la cariçaie à épinette noire sont surtout caractérisés par une forte proportion de matière organique.

Tableau 4
Groupements taxonomiques de végétation riveraine du Québec septentrional

Groupements taxonomiques	Occurrence (%, n = 932)	Morphologie et régime trophique[a]	Espèces dominantes et sous-dominantes
Lichénaie	2	Lichénaie (M)	Lichens *Betula glandulosa* *Larix laricina* *Salix sp.*
Cariçaie	23	Herbaçaie avec ou sans mares (OR)	*Carex* sp. *Betula pumila* *Salix* sp. *Myrica gale*
Cariçaie à bouleau glanduleux	8	Herbaçaie avec ou sans mares (OR)	*Carex* sp. *Betula glandulosa* *Vaccinium uliginosum*
Cariçaie à mélèze	24	Herbaçaie avec ou sans mares ou tachetaie à herbes et conifères (OR)	*Carex* sp. *Larix laricina* *Picea mariana* *Betula pumila* *Sphagnum* sp.
Cariçaie à épinette noire	14	Herbaçaie avec ou sans mares ou tachetaie à herbes et conifères (OP)	*Carex* sp. *Picea mariana* *Larix laricina* *Sphagnum* sp.
Pessière noire à sphaignes	7	Arboraie à épinette et mélèze (OR, OP)	*Picea mariana* *Sphagnum* sp. *Larix laricina*
Mélézin à épinette noire	3	Arboraie à épinette et mélèze (OR)	*Larix laricina* *Picea mariana* *Sphagnum* sp.
Mélézin à bouleau glanduleux	10	Arboraie à épinette et mélèze ou tachetaie à arbustes (OR)	*Larix laricina* *Betula glandulosa* *Sphagnum* sp.
Bétulaie glanduleuse à épinettes	3	Tachetaie à arbustes et épinettes (M)	*Betula glandulosa* *Picea glauca* *Picea mariana*
Bétulaie glanduleuse	2	Arbustaie basse (M)	*Betula glandulosa*
Saulaie	4	Arbustaie basse ou haute (OR)	*Salix* sp. *Betula glandulosa* *Betula pumila* *Carex* sp.

[a]Régime trophique : M = minéral, OP = organique pauvre et OR = organique riche.

6. Discussion

La présente étude porte sur l'écologie de la végétation aquatique et riveraine de lacs possédant une certaine ressemblance : ce sont des lacs sauvages, d'une superficie moyenne d'une vingtaine d'hectares et présentant une végétation riveraine développée. Ce type de lacs est particulièrement recherché par la sauvagine durant la période de nidification. Comme cette étude visait à décrire les effets de l'acidification, nous avons voulu échantillonner des lacs de pH variés et nous avons dû étendre nos secteurs d'étude à des régions différant sensiblement quant à leurs conditions climatiques, physiographiques et géologiques, ce qui peut être considéré comme un avantage ou un désavantage selon que l'on veuille identifier les principaux facteurs régissant la distribution de la végétation ou que l'on veuille dégager l'effet de l'acidification.

6.1. Végétation aquatique

Nous avons établi respectivement neuf et cinq groupements de végétation aquatique pour les lacs du sud et du nord du Québec. Ces groupements, bien qu'ils ne soient pas basés sur des inventaires exhaustifs, peuvent être comparés ou associés à d'autres groupements décrits dans la documentation scientifique. Deux groupements du sud correspondent sensiblement à ceux décrits par Vincent et Bergeron (1983) au lac des Deux-Montagnes. Ces derniers décrivent un groupe dominé par *Sagittaria latifolia*, accompagné principalement de *Sparganium eurycarpum* et qui correspond très bien au nôtre ainsi qu'un groupe à *Nuphar variegatum*, accompagné principalement d'*Elodea canadensis*, *Potamogeton Richardsonii* et *Vallisneria americana*. L'absence d'*Elodea* et de *Vallisneria* dans notre groupement peut s'expliquer du fait qu'elles sont des espèces plutôt associées au fleuve Saint-Laurent et à ses proches affluents. Trois groupements montrent des correspondances quant aux espèces avec les résultats de Hunter *et al.* (1985) concernant la biomasse macrophytique de quatre lacs du Maine : un de leurs lacs réunissait les espèces dominantes des groupements à *Sparganium angustifolium–Eleocharis uniglumis*, à *Utricularia vulgaris* et à *Eriocaulon septangulare*. Cette dernière espèce dominait les trois lacs ontariens étudiés par Wile *et al.* (1985). Les espèces dominantes de deux de nos groupements, *Eleocharis Smallii, Brasenia Schreberi, Sparganium eurycarpum* et *Potamogeton epihydrus* ont été relevées dans des groupements séparés par Vincent et Bergeron (1983), Wile *et al.* (1985) et Crowder *et al.* (1977). Les espèces dominantes du groupement à *Sparganium fluctuans–Potamogeton Oakesianus* ne sont pas mentionnées dans les études susmentionnées, ce qui est surprenant dans le cas de *Sparganium fluctuans*, qui serait bien distribuée selon Marie-Victorin (1964). Enfin le groupement à *Dulichium arundinaceum* et algues serait plutôt associé aux fondrières qu'aux lacs, selon Vitt et Bayley (1984).

Quant aux groupements du nord, mentionnons la présence des espèces *Drepanocladus exannulatus* et *Cladopodiella fluitans* dans un lac de la région de Sudbury, en Ontario (Wile *et al.*, 1985) et en bordure de tourbières jamésiennes (Grondin et Ouzilleau, 1980). Ces derniers ont décrit un groupement à *Menyanthes trifoliata* accompagné entre autres de *Scorpidium scorpioides* dans les mares de tourbières minérotrophes. Enfin *Hippuris vulgaris* et *Potamogeton filiformis*, qui forment deux groupements apparaissant sur nos lacs du nord, et qui sont présentes dans tout le Québec (Marie-Victorin, 1964) ne sont pas relevées par les auteurs susmentionnés.

En ce qui a trait à la régionalisation des groupements, notre travail constitue une première approximation pour les milieux lacustres du Québec tempéré et hémiarctique. Il est à remarquer qu'aucune de nos espèces dominantes ne se trouvait à la fois dans le Québec méridional et septentrional, ce qui laisse supposer la spécificité des milieux favorables à chaque espèce. Dans le présent travail, nous avons cherché à identifier les variables régionales (climat, physiographie et géologie), morphométriques, physico-chimiques et descriptives de la productivité biologique de l'eau qui expliquent le mieux la répartition de la végétation aquatique. L'examen des résultats doit se faire compte tenu du fait que plusieurs variables importantes n'ont pu être considérées. Ce sont surtout : les fluctuations du niveau d'eau, la nature du substrat et l'exposition (Vincent et Bergeron, 1983; Couillard et Grondin, 1986). Nos résultats d'analyse établissent le pH de l'eau comme la variable la plus corrélée à la répartition des groupements de végétation aquatique de nos deux secteurs d'étude. Suivent ensuite la teneur en calcium et la profondeur du lac. Sachant que dans notre cas, le pH est la meilleure variable intégratrice de la physico-chimie et que le calcium est le meilleur intégrateur de la productivité biologique du lac, nous pouvons conclure que la physico-chimie et la productivité biologique sont, parmi les variables que nous avons mesurées, celles qui expliquent le mieux la répartition de la végétation aquatique. La profondeur du lac, qui intègre les variables morphométriques, est aussi une variable explicative dans notre secteur méridional d'étude. L'examen de la figure 2, qui situe les groupements de plantes aquatiques sur un gradient schématique d'acidité, fait ressortir l'effet de la teneur en calcium (productivité biologique des lacs). S'il est évident que ce gradient n'explique pas une suite évolutive, il fait néanmoins ressortir que certains groupements sont adaptés aux milieux acides et que d'autres sont adaptés à des milieux alcalins.

Si l'acidification des lacs se poursuit, on peut s'attendre au remplacement des groupements de végétation peu tolérants à l'acidité par d'autres plus tolérants, phénomène indicateur d'une réduction de la richesse spécifique et de la biomasse macrophytique des lacs. Wile *et al.* (1985) ont mesuré de telles réductions sur des lacs ontariens. L'acidification de nos lacs pourrait aussi se traduire par un envahissement par les sphaignes, comme c'est le cas de lacs suédois (Grahn, 1977). Dans un cas comme dans l'autre, les effets sur l'avifaune seront nombreux (voir DesGranges et Houde, présente publication).

6.2. Végétation riveraine

Nos groupements de végétation riveraine étant, à l'instar de la végétation aquatique, établis d'après une analyse des espèces communes et régulières, nous pouvons, même sans une description exhaustive, les associer à des groupements de tourbières déjà décrits par d'autres auteurs. Dans le Québec méridional, la myriçaie et la myriçaie à chamédaphné s'apparentent aux groupements du même nom de Dansereau et Segadas-Vianna (1952) et Gaudreau (1979). La chamédaphnaie à myrique correspond à la myriçaie à chamédaphné s-ass. à chamédaphné de Milette et Fontaine (1975). La chamédaphnaie, le mélézin à chamédaphné et myrique et la pessière noire à chamédaphné ressemblent respectivement à la chamédaphnaie à sphaignes de Grandtner (1960), au mélézin à sphaignes et myrique de Milette et Fontaine (1975) et à la sphaignaie à épinette noire de Gauthier (1980). L'aulnaie à myrique correspond probablement à celle de Gerardin

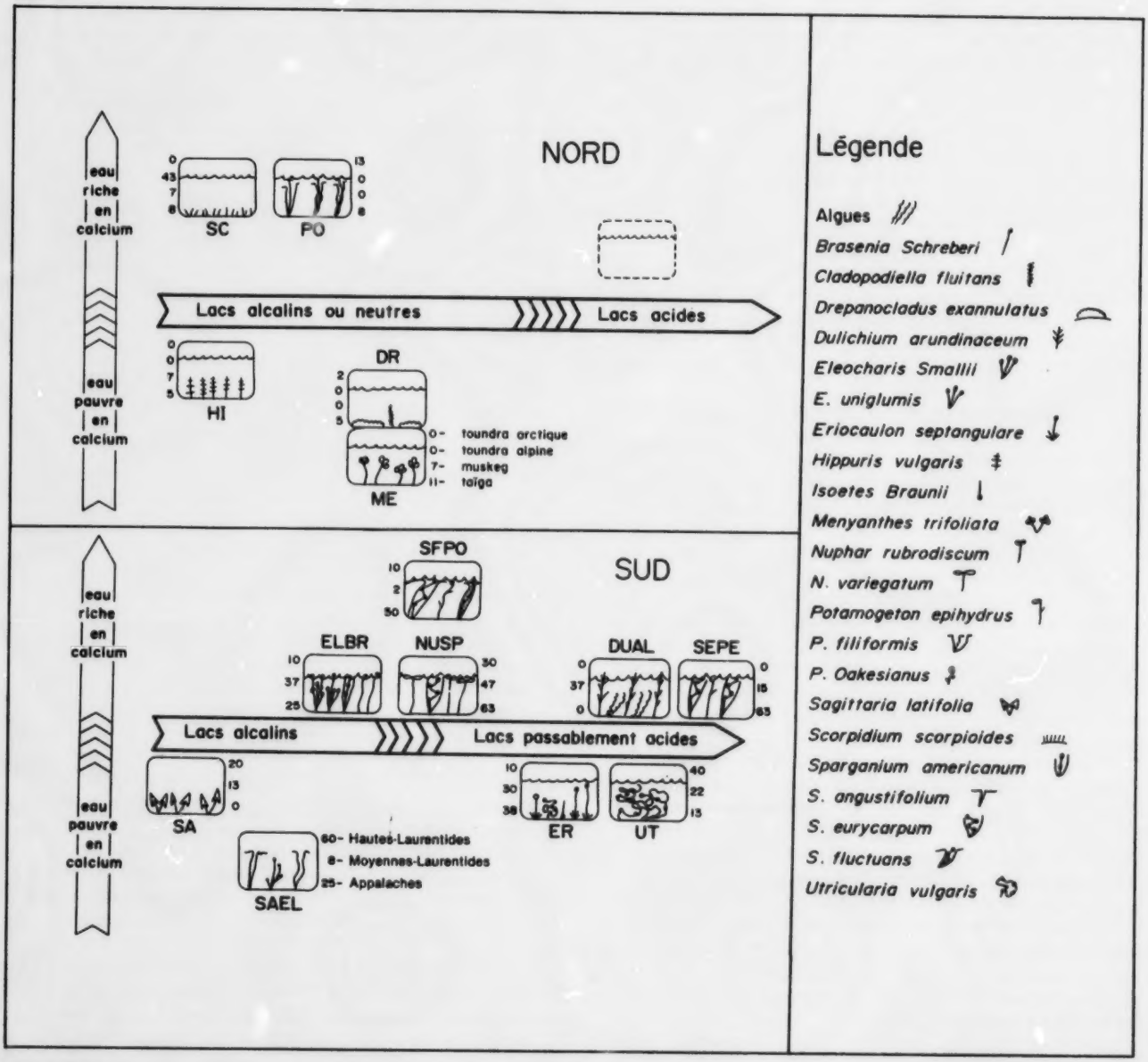
et al. (1984 *dans* Couillard et Grondin, 1986) alors que l'aulnaie à carex correspond à l'aulnaie rugueuse à sphaignes s-ass. à carex de Damman (1964). Nos groupements dominés par les carex ne peuvent être associés à d'autres déjà décrits parce que les carex n'ont pas été identifiés à l'espèce. Nos groupements à quenouilles et à bouleau blanc apparaissent comme de nouveaux groupements.

Quant aux groupements riverains du nord, s'ils présentent quelques affinités avec ceux décrits par Zarnovican et Bélair (1979) et Grondin et Ouzilleau (1980) pour les tourbières de la Baie James, il nous apparaît toutefois difficile de les associer sur la simple base des espèces dominantes et sous-dominantes. La différence entre les milieux riverains et tourbeux nous apparaît plus importante dans le secteur septentrional que dans le secteur méridional.

L'examen de l'ANAFACOR corrélant la végétation riveraine du sud et du nord aux variables régionales suggère que la distribution de la végétation est mieux expliquée par les districts naturels que par l'altitude ou la sensibilité de la roche-mère à l'acidification. Les écorégions du sud présentent une richesse en groupements assez uniforme alors que dans le nord, la toundra arctique est nettement plus pauvre.

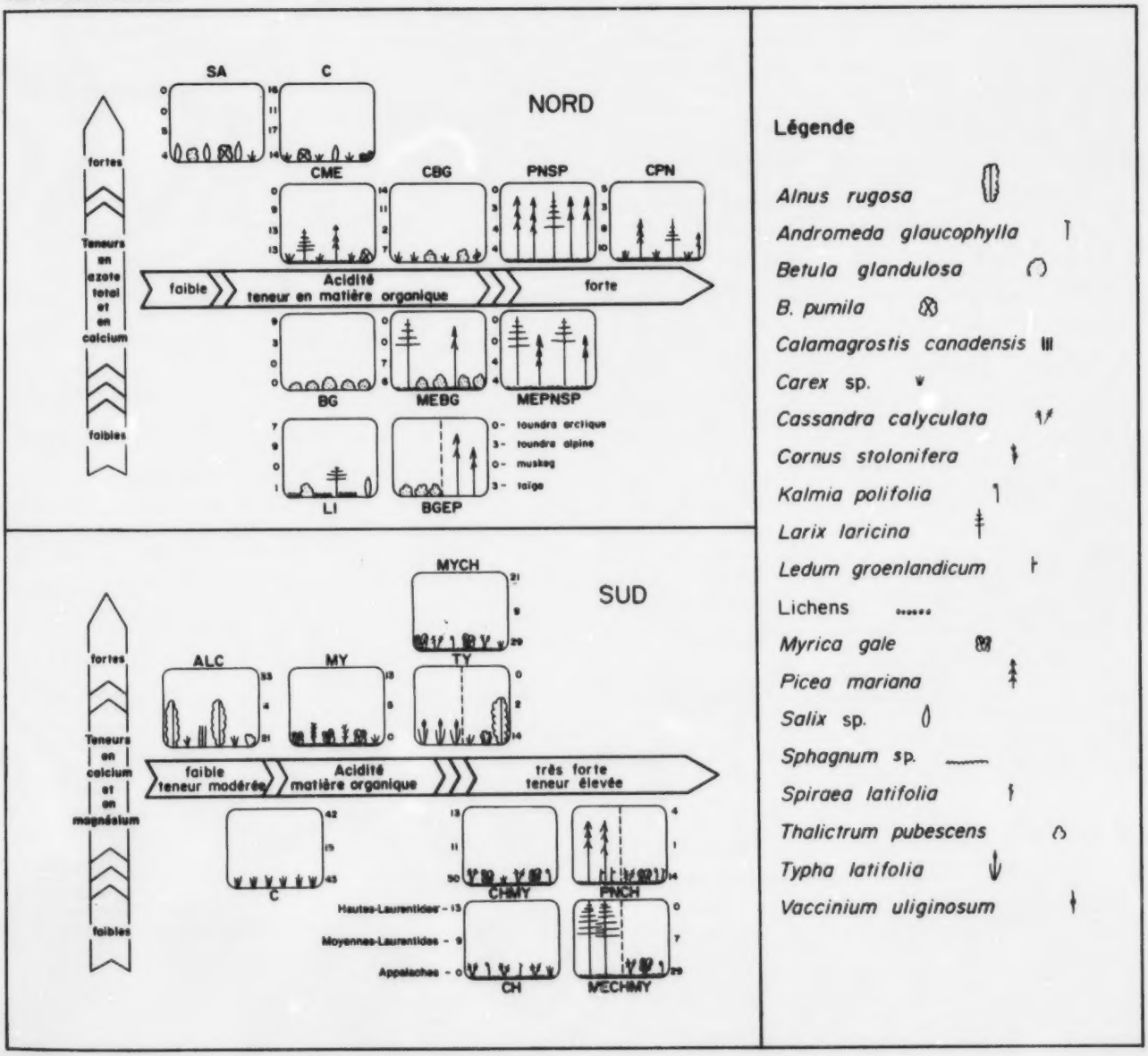
Les sols du sud sont assez homogènes malgré la superficie du quadrilatère d'étude. Ce n'est pas le cas dans le nord où les sols de toundra arctique sont moins développés. La mise en relation de la végétation et des sols fait plus ressortir l'effet de l'acidité au sud qu'au nord, ce qui laisse

Figure 2
Schéma de la distribution de la végétation aquatique selon l'acidité et la teneur en calcium de l'eau. Les espèces dominantes et sous-dominantes de chaque groupement sont illustrées. Les chiffres en marge des illustrations donnent le pourcentage des lacs abritant chaque groupement dans les districts naturels.



supposer que la végétation du sud réagirait plus à l'acidification que celle du nord. Dans le nord, les variables les plus actives sont l'azote et la matière organique, ce qui correspond plutôt au régime trophique des sols. Si on examine les aides à l'interprétation (annexe 6) en tenant compte du régime trophique des groupements (tableau 4), on constate alors que le premier axe sépare les trois groupements de sols minéraux (LI, BGEP et BG) des groupements de sols organiques. Ces résultats s'accordent peu avec ceux de Ducruc et Zarnovican (1976), qui ont montré que le pH s'avère la variable la plus explicative de la distribution du mélèze laricin et de l'épinette noire à la bordure méridionale de la baie d'Ungava. Selon Gorham *et al.* (1984), l'acidification, qui favorise le développement de certaines espèces de sphaignes, a probablement pour effet d'activer la transformation des tourbières minérotrophes (fens) en tourbières ombrotrophes (bogs). Cette hypothèse découle entre autres du fait que le ratio bogs/fens est plus élevé en Europe, là où l'acidification anthropique s'exerce depuis plus longtemps qu'en Amérique du Nord. Sachant que les sphaignes diminuent le pH et favorisent l'accumulation de matière organique, nous pouvons supposer que la végétation du nord réagira autant à l'acidification que celle du sud si l'acidité des précipitations continue à augmenter dans le nord de la province. À cet égard, il est d'ailleurs intéressant de noter que les sphaignes comptent parmi les espèces dominantes des groupements de végétation de sols acides tant dans le secteur sud de notre étude que dans le secteur nord (figure 3).

Figure 3
Schéma de la distribution de la végétation riveraine selon l'acidité et les teneurs en matière organique, en calcium et en azote. Les espèces dominantes de chaque groupement sont illustrées. Les chiffres en marge des illustrations donnent le pourcentage des places-échantillons abritant chaque groupement dans les districts naturels.



Annexes

Annexe 1
Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses abritant les groupements de végétation aquatique du Québec méridional

Types de variables et description	Nombre de lacs (n = 78)	Code[a]	Groupements aquatiques								
			ELBR[b]	ER	DUAL	UT	NUSP	SAEL	SEPE	SFPO	SA
Variables éco-géographiques											
Zone écologique[c]											
Boréale	11	ZE2	9	9	0	36	36	55	9	9	18
Tempérée froide	67	ZE3	36	31	33	21	48	11	19	8	12
Sous-zone[c]											
Boréale	11	SZ4	9	9	0	36	36	55	9	9	18
Transition humide	16	SZ5	31	19	19	19	38	25	13	0	13
Médiane humide	23	SZ6	39	30	30	22	48	0	17	4	13
Médiane inférieure humide	7	SZ7	29	43	0	14	57	29	57	57	0
Inférieure humide	21	SZ8	38	38	57	24	52	5	14	0	14
Écorégion[c]											
Hautes-Laurentides	10	ER3	10	10	0	40	30	60	0	10	20
Baskatong	16	ER4	31	19	19	19	38	25	13	0	13
Moyennes-Laurentides	23	ER5	39	30	30	22	48	0	17	4	13
Appalaches	8	ER6	25	38	0	13	63	25	63	50	0
Outaouais	21	ER7	38	38	57	24	52	5	14	0	14
Paysage écologique[c]											
Forêt de conifères	30	PE5	30	20	13	30	40	27	17	7	10
Anneau de conifères puis feuillus	20	PE6	35	45	35	10	55	20	30	15	15
Forêt mixte	21	PE7	29	33	43	29	38	5	14	0	14
Forêt feuillue	7	PE8	43	0	29	14	71	0	0	14	14
Altitude (m)											
Moyenne (200–450)	59	AT1	36	32	31	24	51	8	16	3	17
Élevée (451–900)	19	AT2	21	16	21	21	32	42	26	21	0
Sensibilité à l'acidification[d]											
Moyenne	17	SA1	29	29	29	24	71	18	35	18	6
Élevée	61	SA2	33	28	28	23	39	16	13	5	15

[a]La formule du code se lit comme suit : XXz(i), où XX correspond à la variable, z à l'état de la variable avant la rationalisation de la matrice des données et i à l'état après la rationalisation. Si z = i, alors i est omis.
[b]DUAL = *Dulichium arundinaceum* et algues; ELBR = *Eleocharis Smallii* et *Brasenia Schreberi*; ER = *Eriocaulon septangulare*; NUSP = *Nuphar variegatum* et *Sparganium* sp.; SA = *Sagittaria latifolia*; SAEL = *Sparganium angustifolium* et *Eleocharis uniglumis*; SEPE = *Sparganium eurycarpum* et *Potamogeton epihydrus*; SFPO = *Sparganium fluctuans* et *Potamogeton Oakesianus*; UT = *Utricularia vulgaris*.
[c]D'après Gilbert *et al.* (1985).
[d]D'après Shilts (1981).

Annexe 1 (suite)
Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses abritant les groupements de végétation aquatique du Québec méridional

Types de variables et description	Nombre de lacs (n = 78)	Code[a]	Groupements aquatiques								
			ELBR[b]	ER	DUAL	UT	NUSP	SAEL	SEPE	SFPO	SA
Variables morphométriques											
Superficie (ha)											
Très faible (5-15)	42	SU1	33	38	29	29	48	5	10	5	14
Faible (16-40)	36	SU2	31	17	28	17	44	31	28	11	11
Profondeur maximale (m)											
Très faible (≤ 2)	33	PX1	45	27	33	24	49	24	18	12	21
Faible (3-22)	45	PX2	22	29	24	22	44	11	18	4	7
Pente de la baine (Jurdant *et al.*, 1977)											
Faible	28	BN1	54	32	43	21	46	11	11	0	21
Modérée	30	BN2	27	23	33	27	43	13	10	0	13
Indice de développement du rivage[c]											
Contour arrondi (1,0-1,3)	23	ID1	22	22	18	22	61	22	22	13	0
Contour irrégulier (1,4-3,0)	55	ID2	36	31	33	24	40	15	16	6	18
Indice de réticulation du rivage[f]											
Faible	20	IRa(1)	35	50	35	10	35	15	15	0	10
Moyen	40	IRb(1)	23	15	18	25	45	23	15	8	13
Élevé	18	IRc(2)	50	33	44	33	61	6	28	17	17
Variables physico-chimiques											
Couleur (Hazen)											
Eau claire (1-20)	31	CO1	39	33	36	26	58	13	19	10	7
Eau colorée (21-40)	30	CO2	33	27	30	27	43	20	10	10	20
Eau foncée (41-100)	17	CO3	18	6	12	12	29	18	29	0	12
Turbidité (Jackson)											
Faible (< 1,0)	30	TU1	33	43	33	37	37	17	20	3	17
Modérée (1,0-1,9)	39	TU2	26	18	28	15	54	15	13	10	5
Élevée (2,0-3,3)	9	TU3	56	22	11	11	44	22	33	11	33
pH été											
Passablement acide (4,4-5,0)	10	PHa(1)	0	10	20	50	20	0	10	0	0
Moyennement acide (5,1-5,5)	10	PHb(1)	10	40	30	10	30	10	40	10	0
Peu acide (5,6-6,9)	47	PHc(2)	40	34	28	23	47	23	15	9	21
Alcalin (7,0-8,5)	11	PHd(2)	46	9	36	9	82	9	18	9	0
Alcalinité (mg $CaCO_3$/L)											
Très peu tamponnée (0-3)	38	AC1	37	29	34	26	42	8	13	0	18
Peu tamponnée (4-10)	15	AC2	47	33	53	20	27	13	7	7	13
Bien tamponnée (11-35)	14	AC3	14	29	0	36	50	43	43	21	0
Très bien tamponnée (> 35)	11	AC4	18	18	9	0	82	18	18	18	9
Conductivité (µS/cm)											
Faible (8-25)	47	CD1	26	32	21	26	40	21	15	9	15
Modérée à élevée (25-200)	31	CD2	42	23	39	19	55	10	23	7	10
Indice de saturation calcique[g]											
Très bien tamponné (0-3)	19	IS1	37	21	21	5	68	21	21	16	5
Modérément tamponné (3,1-5,1)	37	IS2	32	30	27	27	38	24	19	8	19
Peu tamponné (5,2-6,6)	22	IS3	27	32	36	32	36	0	14	0	9
Tanins et lignine (mg/L)											
Faible à modérée (0,1-1,0)	29	TL1	41	45	31	28	62	10	14	3	7
Modérée à élevée (1,1-3,6)	49	TL2	27	18	27	20	37	20	20	10	16
Sulfates (mg SO_4/L)											
Faible (2,0-3,5)	14	SF2	14	21	7	43	43	50	7	14	7
Élevée (3,5-8,0)	64	SF3	36	30	33	19	47	9	20	6	14
Aluminium (mg/L)											
Faible (0,02-0,05)	25	AL1	44	32	32	24	72	12	4	4	8
Modérée (0,06-0,1)	28	AL2	39	36	32	18	39	25	25	11	25
Élevée (0,11-0,5)	25	AL3	12	16	20	28	28	12	24	8	4
Rapport C/N (organique)											
Très faible (8,0-30,0)	28	CN1	36	36	39	21	46	14	18	14	11
Faible (30,1-39,9)	24	CN2	38	14	25	25	54	25	13	4	21
Modéré à élevé (40,0-135,0)	26	CN3	23	31	19	23	39	12	23	4	8

[a] D'après Joyner (1980).
[f] Voir le tableau 5.
[g] D'après Kramer (1981) *dans* Dupont (1984).

Annexe 1 (suite)
Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses abritant les groupements de végétation aquatique du Québec méridional

Types de variables et description	Nombre de lacs (n = 78)	Code[a]	Groupements aquatiques								
			ELBR[b]	ER	DUAL	UT	NUSP	SAEL	SFPE	SFPO	SA
Variables de la productivité biologique											
Phosphore total (mg/L)											
Oligotrophe (0,005–0,1)	32	PT1	28	34	22	13	53	22	31	16	6
Méso-eutrophe (0,011–0,04)	46	PT2	35	24	33	30	41	13	9	2	17
Toxicité											
Pas de problème	58	TX0	36	36	26	19	53	17	19	10	12
Problèmes possibles	20	TX1	20	5	35	35	25	15	15	0	15
Calcium de l'eau (mg/L)											
Très faible (< 1,5)	13	CEa(1)	0	15	20	27	20	7	7	7	0
Faible (1,5–2,9)	46	CEb(1)	37	35	26	26	46	22	17	7	20
Moyenne à élevée (> 2,9)	19	CEc(2)	42	21	37	11	63	11	26	11	5
Chlorophylle «a» (mg/m^3)											
Extr. faible (0,3–1,0)	12	YAa(1)	25	8	33	25	42	33	25	8	0
Très faible (1,1–2,0)	25	YAb(1)	36	48	32	28	40	4	8	4	12
Faible (2,1–11,5)	37	YAc(2)	35	19	27	22	51	22	19	8	19
Variable pédologique											
Pourcentage de sédiments organiques (rivage)											
Faible (≤ 33 %)	10	SO1	40	30	30	10	30	40	20	0	20
Moyen (33–100 %)	48	SO2	40	27	40	27	48	6	8	0	17
Moyenne générale	78		32	28	28	23	46	17	18	8	13

Annexe 2
Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses abritant les groupements de végétation aquatique du Québec septentrional

Types de variables et description	Nombre de lacs (n = 68)	Code[a]	Groupements aquatiques DR[b]	HI	ME	PO	SC
Variables éco-géographiques							
Sous-zone écologique[c]							
Hémi-arctique supérieur	8	SZ1	0	0	0	13	38
Hémi-arctique montagnard	56	SZ2	7	5	9	5	4
Hémi-arctique inférieur	4	SZ3	0	0	0	0	50
Écorégion[c]							
Rivière George	11	ER1	18	0	0	9	27
Rivière de Pas	57	ER2	4	5	9	5	7
Paysage écologique[c]							
Toundra arctique	8	PE1	25	0	0	13	0
Toundra alpine	7	PE2	0	0	0	0	43
Muskeg	15	PE3	0	7	7	0	7
Taïga	38	PE4	5	5	11	8	8
Altitude (m)							
Moyenne (350–450)	18	AT1	11	0	11	6	17
Élevée (451–600)	50	AT2	4	6	6	6	8
Sensibilité à l'acidification[d]							
Moyenne	47	SA1	4	6	11	2	11
Élevée	21	SA2	10	0	0	14	10
Variables morphométriques							
Superficie (ha)							
Très faible (3–15)	17	SU1	0	6	6	6	12
Faible (16–75)	51	SU2	8	4	8	6	10
Profondeur maximale (m)							
Très faible (≤ 2)	51	PX1	6	4	8	4	6
Faible (3–11)	17	PX2	6	6	6	12	24
Pente de la beine							
Faible	35	BN1	3	3	6	3	11
Modérée	33	BN2	9	6	9	9	9
Indice de développement du rivage[e]							
Contour arrondi (1,0–1,3)	36	ID1	8	0	6	6	6
Contour irrégulier (1,4–3,0)	32	ID2	3	9	9	6	16
Indice de réticulation du rivage[f]							
Faible	20	IRa(1)	0	0	0	10	20
Moyen	32	IRb(2)	13	6	15	6	9
Élevé	16	IRc(2)	0	6	13	0	0
Variables physico-chimiques							
Couleur (Hazen)							
Eau claire (1–20)	49	CO1	6	4	4	8	12
Eau colorée (21–40)	18	CO2	6	6	17	0	6
Turbidité (Jackson)							
Faible (< 1,0)	19	TU1	0	11	0	16	21
Modérée (1,0–1,9)	32	TU2	9	0	13	3	6
Élevée (2,0–8,0)	17	TU3	6	6	6	0	6
pH été							
Très acide (3,0–4,5)	7	PHa(1)	0	0	0	0	0
Peu acide (5,6–6,9)	47	PHb(2)	9	2	11	6	9
Alcalin (7,0–8,6)	14	PHc(2)	0	14	0	7	21
Alcalinité (mg $CaCO_3/L$)							
Très peu tamponnée (0–3)	11	AC1	18	0	0	9	0
Peu tamponnée (4–10)	45	AC2	4	2	11	4	7
Bien tamponnée (11–35)	12	AC3	0	17	0	8	33
Conductivité (µS/cm)							
Faible (3–25)	49	CD1	8	2	10	6	6
Modérée à élevée (26–40)	18	CD2	0	11	0	6	22
Indice de saturation calcique[g]							
Très bien tamponné (0,5–3,0)	13	IS1	0	15	0	8	31
Modérément tamponné (3,1–5,1)	47	IS2	9	2	11	6	6

[a]La formule du code se lit comme suit : XXz(i), où XX correspond à la variable, z à l'état de la variable avant la rationalisation de la matrice des données et i à l'état après la rationalisation. Si z = i, alors i est omis.
[b]DR = *Drepanocladus exannulatus*; HI = *Hippuris vulgaris*; ME = *Menyanthes trifoliata*; PO = *Potamogeton filiformis*; SC = *Scorpidium scorpioides*.
[c]D'après Gilbert *et al.* (1985).
[d]D'après Shilts (1981).
[e]D'après Joyner (1980).
[f]Voir le tableau 5.
[g]D'après Kramer (1981, *dans* Dupont, 1984).

Annexe 2 (suite)
Pourcentage des lacs de caractéristiques diverses abritant les groupements de végétation aquatique du Québec septentrional

Types de variables et description	Nombre de lacs (n = 68)	Code[a]	Groupements aquatiques				
			DR[b]	HI	ME	PO	SC
Tanins et lignine (mg/L)							
Faible à modérée (0,1–1,0)	54	TL1	4	6	4	7	11
Modérée à élevée (1,1–1,5)	13	TL2	15	0	23	0	8
Sulfates (mg SO_4/L)							
Très faible (0,3–1,5)	42	SF1	7	5	10	7	10
Faible (1,6–3,5)	16	SF2	6	6	6	6	19
Modérée (3,6–83,0)	9	SF3	0	0	0	0	0
Aluminium (mg/L)							
Faible (0,03–0,05)	38	AL1	5	8	5	5	16
Modérée (0,06–0,10)	18	AL2	0	0	17	6	6
Élevée (0,11–3,35)	11	AL3	18	0	0	9	0
Variables de la productivité biologique							
Chlorophylle «a» (mg/m^3)							
Extrêmement faible (0,1–1,0)	30	YAa(1)	10	7	7	10	20
Très faible (1,1–2,0)	19	YAb(2)	0	5	16	5	0
Faible (2,1–5,0; 64,0)	19	YAc(2)	5	0	0	0	5
Calcium (mg/L)							
Très faible (0,4–1,4)	38	CEa(1)	11	0	13	8	8
Faible (1,5–2,9)	18	CEb(2)	0	6	0	0	6
Moyenne à élevée (3,0–10,0)	11	CEc(2)	0	18	0	9	27
Toxicité							
Pas de problèmes	56	TX1	7	5	7	7	13
Problèmes possibles	6	TX2	0	0	17	0	0
Problèmes sérieux	6	TX3	0	0	0	0	0
Variable pédologique							
Pourcentage de sédiments organiques (rivage)							
Faible (≤ 33 %)	47	SO1	6	4	9	9	9
Moyen (33–80 %)	21	SO2	5	5	5	0	14
Moyenne générale			6	4	7	6	10

Annexe 3
Pourcentage des places-échantillons de caractéristiques diverses supportant les groupements taxonomiques de végétation riveraine du Québec méridional

Types de variables et description	Nombre échant. sols (n = 292)	Code[a]	Groupements riverains										
			TY[b]	C	MY	MYCH	CHMY	CH	MECHMY	PNCH	BOB	ALMY	ALC
Variables éco-géographiques													
Zone écologique[c]													
Boréale	25	ZE2	0	44	12	20	16	12	4	8	12	8	24
Tempérée froide	267	ZE3	3	20	5	10	13	9	8	1	2	2	6
Sous-zone[c]													
Boréale	25	SZ4	0	28	0	16	8	12	0	4	8	8	20
Transition humide	89	SZ5	0	21	4	4	8	10	6	3	1	0	7
Médiane humide	97	SZ6	2	20	4	9	18	11	7	1	2	1	6
Médiane inférieure humide	14	SZ7	14	36	0	29	43	0	21	7	21	21	21
Inférieure humide	75	SZ8	5	19	11	16	9	5	9	0	0	3	4
Écorégion[c]													
Hautes-Laurentides	24	ER3	0	42	13	21	13	13	0	4	13	8	33
Baskatong	89	ER4	0	17	1	3	6	12	4	2	0	0	3
Moyennes-Laurentides	97	ER5	2	20	4	9	18	9	7	1	2	1	6
Appalaches	14	ER6	14	43	0	29	50	0	29	14	21	21	21
Outaouais	75	ER7	5	19	11	16	9	5	9	0	0	3	4
Paysage écologique[c]													
Forêt de conifères	116	PE5	1	22	4	9	9	14	8	4	3	3	9
Anneau de conifères puis feuillus	68	PE6	4	25	4	16	21	9	13	0	1	4	6
Forêt mixte	87	PE7	1	21	5	9	14	5	3	1	3	0	7
Forêt feuillue	21	PE8	14	19	19	19	14	5	5	0	0	10	10
Altitude (m)													
Moyenne (213-450)	242	AT1	3	19	6	10	12	9	7	1	2	2	6
Élevée (450-914)	50	AT2	2	36	2	16	18	12	8	8	8	6	18
Sensibilité à l'acidification[d]													
Moyenne	37	SA1	11	27	14	27	22	3	22	5	8	11	14
Élevée	255	SA2	2	21	4	9	12	10	5	2	2	2	7
Variables pédologiques													
pH de laboratoire													
Extrêmement acide (3,5-4,0)	75	PLa(1)	4	24	15	5	19	37	19	4	—[e]	—	1
Très acide (4,1-4,5)	80	PLb(1)	1	33	6	10	20	14	10	3	—	—	3
Passablement acide (4,6-5,0)	77	PLc(2)	3	55	3	12	6	5	0	0	—	—	10
Moyennement à peu acide (5,1-6,2)	52	PLd(2)	0	50	10	13	4	0	0	0	—	—	15
Azote total (%)													
Faible (0,03-1,50)	113	NTa(1)	2	41	4	4	8	13	7	2	—	—	9
Moyenne (1,51-2,40)	144	NTb(2)	1	33	4	10	16	18	8	1	—	—	5
Élevée (2,41-2,95)	24	NTc(2)	0	46	8	29	8	0	0	0	—	—	4
Matière organique (%)													
Teneur modérée (1-60)	74	MO1	1	62	7	7	0	1	0	0	—	—	18
Teneur élevée (61-88)	70	MO2	0	40	9	13	9	10	3	0	—	—	6
Teneur très élevée (89-99)	137	MO3	1	23	1	8	20	24	12	3	—	—	1
Calcium (µéq/100 g)													
Faible (0,2-10,0)	125	CAa(1)	0	42	3	4	13	19	2	2	—	—	6
Moyenne (10,1-25,0)	110	CAb(2)	1	34	4	10	10	15	13	2	—	—	6
Élevée (25,1-99,9)	46	CAc(2)	4	33	9	20	15	2	4	0	—	—	9
Magnésium (µéq/100 g)													
Faible (0,0-3,0)	150	MGa(1)	1	47	5	5	12	14	2	0	—	—	7
Moyenne (3,1-6,0)	103	MGb(2)	1	26	4	11	14	17	10	3	—	—	8
Élevée (6,1-50,4)	28	MGc(2)	4	29	0	21	7	7	21	4	—	—	0
Potassium (µéq/100 g)													
Faible (0,01-0,30)	146	K1	1	45	5	8	13	8	8	1	—	—	8
Moyenne (0,31-2,63)	135	K2	1	30	4	10	11	22	5	2	—	—	4
Moyenne générale	292		1	22	5	10	13	9	8	1	3	2	8

[a]La formule du code se lit comme suit : XXz(i), où XX correspond à la variable, z à l'état de la variable avant la rationalisation de la matrice des données et i à l'état après la rationalisation. Si z = i, alors i est omis.
[b]TY = quenouillaie, C = cariçaie, MY = myriçaie, MYCH = myriçaie à chamédaphné, CHMY = chamédaphnaie à myrique, CH = chamédaphnaie, MECHMY = mélézin à chamédaphné et myrique, PNCH = pessière noire à chamédaphné, BOB = bétulaie blanche riparienne, ALMY = aulnaie à myrique et ALC = aulnaie à carex.
[c]D'après Gilbert *et al.* (1985).
[d]D'après Shilts (1981).
[e]Le tiret signifie une valeur manquante.

Annexe 4
Pourcentage des places-échantillons de caractéristiques diverses supportant les groupements taxonomiques de végétation riveraine du Québec septentrional

Types de variables et description	Nombre échant. sols (n = 345)	Code[a]	Groupements riverains										
			LI[b]	C	CBG	CME	CPN	PNSP	MEPNSP	MEBG	BGEP	BG	SA
Variables éco-géographiques													
Sous-zone écologique[c]													
Hémi-arctique supérieur	43	SZ1	7	16	14	2	5	0	0	0	0	12	0
Hémi-arctique montagnard	272	SZ2	2	15	6	13	9	4	4	6	2	0	3
Hémi-arctique inférieur	29	SZ3	0	10	7	7	7	7	0	3	3	0	10
Écorégion[c]													
Rivière George	58	ER1	9	16	14	2	3	0	0	0	0	9	0
Rivière De Pas	286	ER2	1	14	6	13	9	4	3	6	2	0	4
Paysage écologique[c]													
Toundra arctique	43	PE1	7	16	14	0	5	0	0	0	0	9	0
Toundra alpine	35	PE2	9	11	11	9	3	3	0	0	3	3	0
Muskeg	83	PE3	0	17	2	13	8	4	4	7	0	0	5
Taïga	183	PE4	1	14	7	13	10	4	4	6	3	0	4
Altitude (m)													
Moyenne (351-450)	103	AT1	1	16	7	10	7	4	1	3	0	3	5
Élevée (451-580)	241	AT2	3	14	7	11	9	3	4	6	2	1	3
Sensibilité à l'acidification[d]													
Moyenne	248	SA1	2	14	6	10	10	4	4	5	2	1	4
Élevée	96	SA2	2	16	10	11	5	2	0	4	0	3	3
Variables pédologiques													
pH de laboratoire													
Extrêmement acide (3,0-4,0)	22	PLa(1)	0	18	5	5	23	14	5	5	5	0	5
Très acide (4,1-4,5)	54	PLb(1)	7	17	11	15	24	7	6	0	4	6	0
Passablement acide (4,6-5,0)	161	PLc(2)	4	29	11	20	11	6	2	4	1	1	6
Moyennement à peu acide (5,1-6,5)	108	PLd(2)	4	36	8	17	3	3	3	6	4	4	7
Azote total (%)													
Faible (0,01-1,50)	83	NTa(1)	14	11	11	11	6	5	4	5	10	7	5
Moyenne (1,51-2,40)	122	NTb(2)	2	31	13	10	13	9	2	4	0	2	8
Élevée (2,41-3,41)	140	NTc(2)	1	36	6	28	13	4	3	4	0	0	3
Matière organique (%)													
Teneur modérée (1-60)	22	MO1	55	55	55	36	23	18	14	23	32	27	36
Teneur élevée (61-88)	198	MO2	2	25	7	13	5	2	2	3	1	2	4
Teneur très élevée (89-98)	125	MO3	0	29	6	22	19	10	3	3	0	0	2
Calcium (µéq/100 g)													
Faible (0,3-10,0)	132	CAa(1)	9	16	13	11	16	4	5	5	5	5	3
Moyenne (10,1-25,0)	157	CAb(2)	1	39	8	20	8	8	3	3	5	1	4
Élevée (25,1-96,4)	56	CAc(2)	2	27	7	23	9	5	0	7	0	2	13
Magnésium (µéq/100 g)													
Faible (0,0-3,0)	149	MGa(1)	7	22	13	16	11	2	3	3	5	5	2
Moyenne (3,1-6,0)	92	MGb(2)	4	39	9	13	12	10	3	4	0	0	3
Élevée (6,1-92,3)	104	MGc(2)	0	28	6	23	11	8	2	6	1	1	12
Potassium (µéq/100 g)													
Faible (0,02-0,30)	185	K1	6	24	10	17	13	5	4	3	3	3	3
Moyenne (0,31-4,47)	160	K2	3	33	9	18	9	6	1	6	1	2	8
Moyenne générale	354		2	14	7	11	9	3	3	5	2	1	3

[a]La formule du code se lit comme suit : XXz(i), où XX correspond à la variable, z à l'état de la variable avant la rationalisation de la matrice des données et i à l'état après la rationaliation. Si z = i, alors i est omis.
[b]LI = lichénaie, C = cariçaie, CBG = cariçaie à bouleau glanduleux, CME = cariçaie à mélèzes, CPN = cariçaie à épinette noire, PNSP = pessière noire à sphaignes, MEPNSP = mélézin à épinette noire et sphaignes, MEBG = mélézin à bouleau glanduleux, BGEP = bétulaie glanduleuse à épinettes, BG = bétulaie glanduleuse et SA = saulaie.
[c]D'après Gilbert *et al.* (1985).
[d]D'après Shilts (1981).

Annexe 5
Aides à l'interprétation des analyses factorielles des correspondances se rapportant à la végétation aquatique

Titre de l'ANAFACOR. Dimensions de la matrice; trace[a]; taux d'inertie des facteurs principaux[b]	Variables environnementales contribuant le plus à la variance des facteurs (Pourcentage de contribution absolue au facteur)[c]	Groupements de végétation dont la distribution est la plus influencée par les facteurs (Pourcentage de contribution relative du facteur)[d]
Variables éco-géographiques		
Québec méridional (3 variables en 9 états c. 9 groupements; trace = 0,192)		
1er facteur (60 %)	AT2(29 +), ER6(23 +), ER3(17 +); ER7(12 –)[e]	SFPO(75 +), SAEL(67 +); ELBR(76 –), DUAL(70 –), ER(69 –)
2e facteur (31 %)	ER6(33 +); ER3(44 –)	SEPE(69 +); UT(85 –), SA(45 –)
3e facteur (5 %)	AT2(36 +), ER7(30 +); AT1(11 –), ER6(11 –)	
Québec septentrional (4 variables en 9 états c. 5 groupements; trace = 0,303)		
1er facteur (57 %)	SZ2(15 +); SZ1(24 –), SZ3(18 –), ER1(17 –)	ME(84 +), HI(77 +); SC(76 –)
2e facteur (29 %)	SA2(43 +); SZ3(21 –), SA1(19 –)	PO(65 +), DR(63 +)
3e facteur (11 %)	AT2(17 +), SZ1(14 +); AT1(33 –), ER1(17 –)	DR(35 –)
Effet de l'acidité		
Québec méridional (5 variables en 10 états c. 9 groupements; trace = 0,049)		
1er facteur (52 %)	PH2(11 +), PX1(10 +); PH1(54 –), PX2(11 –)	SA(75 +), ELBR(67 +), SAEL(43 +); UT(59 –), SEPE(56 –), DUAL(47 –), ER(46 –)
2e facteur (26 %)	CE1(17 +); CE2(53 –), IR2(20 –)	SAEL(40 +); SFPO(43 –), NUSP(38 –)
3e facteur (10 %)	IR2(24 +), PX1(14 +); PX2(15 –), IR1(11 –), CE2(11 –)	SFPO(45 +); NUSP(36 –)
Québec septentrional (5 variables en 9 états c. 5 groupements; trace = 0,238)		
1er facteur (67 %)	CE1(16 +); CE2(30 –), IR1(24 –)	ME(94 +), DR(81 +); SC(93 –)
2e facteur (29 %)	CE2(34 +), IR2(11 +); IR1(30 –), CE1(18 –)	H1(87 +); PO(79 –)
3e facteur (4 %)	YA1(26 +); YA2(59 –)	

[a]La trace est la somme des moments d'inertie. Elle indique la variance totale du nuage multidimensionnel.
[b]Le taux d'inertie indique le pourcentage de la variance totale expliqué par le facteur.
[c]Il s'agit du pourcentage de la variance du facteur expliqué par la variable. Seules sont présentées ici les variables qui ont une contribution plus élevée que la contribution équilibrée théorique, soit par exemple plus de 11,11 % si on a 9 variables.
[d]Il s'agit du pourcentage de la variance du groupement expliqué par l'axe. Pour chaque facteur, on présente ici les groupements qui voient plus de 35 % de leur variance expliquée par un facteur.
[e]Les codes des variables et des groupements correspondent à ceux des annexes 1 et 2. Les signes « + » et « – » indiquent le sens de la corrélation au facteur.

Annexe 6
Aides à l'interprétation des analyses factorielles des correspondances se rapportant à la végétation riveraine

Titre de l'ANAFACOR. Dimensions de la matrice; trace[a]; taux d'inertie des facteurs principaux[b]	Variables environnementales contribuant le plus à la variance des facteurs (Pourcentage de contribution absolue au facteur)[c]	Groupements de végétation dont la distribution est la plus influencée par les facteurs (Pourcentage de contribution relative du facteur)[d]
Variables éco-géographiques		
Québec méridional (4 variables en 12 états c. 11 groupements; trace = 0,147)		
1er facteur (43 %)	ER4(19 +), PE5(11 +); PE8(19 –), ER7(17 –), SA1(15 –)[e]	C(68 +) CH(62 +); TY(91 –), MYCH(80 –), MY(45 –), ALMY(35 –)
2e facteur (29 %)	ER4(9 +), ER7(8 +); ER6(26 –), AT2(18 –), ER3(15 –)	BOB(89 –), ALC(48 –), ALMY(44 –), PNCH(44 –)
3e facteur (13 %)	ER3(37 +), PEB(13 +); ER6(22 –), PE6(14 –)	MY(38 +); MECHMY(48 –), CHMY(41 –)
Québec septentrional (3 variables en 8 états c. 11 groupements; trace = 0,167)		
1er facteur (72 %)	PE1(59 +), PE2(12 +)	BG(94 +), CBG(89 +), LI(63 +), C(35 +); MEBG(81 –), CPN(65 –), MEPNSP(65 –), PNSP (62 –), CME(60 –), SA(44 –)
2e facteur (18 %)	PE2(23 +); AT1(28 –), PE3(17 –), SA2(15 –)	BGEP(81 +), LI(33 +); C(53 –), SA(46 –)
3e facteur (5 %)	PE2(33 +), SA2(28 +); PE1(28 –)	CME(33 +)
Variables pédologiques		
Québec méridional (5 variables en 11 états c. 9 groupements; trace = 0,220)		
1er facteur (77 %)	MO1(18 +), PL2(17 +); MO3(16 –), PL1(11 –)	C(93 +), ALC(91 +); CH(88 –), CHMY(84 –), MECHMY(82 –), PNCH(81 –)
2e facteur (11 %)	CA1(31 +), MG1(18 +); CA2(20 –), MG2(17 –)	MYCH(71 –)
3e facteur (6 %)	NT1(27 +), MO1(16 +); NT2(17 –), MO2(15 –)	TY(35 –)
Québec septentrional (5 variables en 11 états c. 11 groupements; trace = 0,190)		
1er facteur (66 %)	NT1(25 +), MO1(19 +), CA1(10 +); NT2(7 –)	LI(95 +), BGEP(93 +), BG(88 +), MEPNSP(38 +), CBG(35 +); C(89 –), CME(79 –)
2e facteur (20 %)	MO3(26 +), PL1(21 +); MO1(7 –), MO2(7 –)	CPN(82 +), PNSP(64 +); SA(54 –)
3e facteur (8 %)	MG1(24 +), CA1(9 +), PL1(8 +); MG2(17 –)	CBG(35 +); MEBG(59 –)

[a]La trace est la somme des moments d'inertie. Elle indique la variance totale du nuage multidimensionnel.
[b]Le taux d'inertie indique le pourcentage de la variance totale expliqué par le facteur.
[c]Il s'agit du pourcentage de la variance du facteur expliqué par la variable. Seules sont présentées ici les variables qui ont une contribution plus élevée que la contribution équilibrée théorique, soit par exemple plus de 11,11 % si on a 9 variables.
[d]Il s'agit du pourcentage de la variance du groupement expliqué par l'axe. Pour chaque facteur, on présente ici les groupements qui voient plus de 35 % de leur variance expliquée par un facteur.
[e]Les codes des variables et des groupements correspondent à ceux des annexes 3 et 4. Les signes « + » et « – » indiquent le sens de la corrélation au facteur.

Ouvrages cités

Able, K.P.; Noon, B.R. 1976. Avian community structure along elevational gradients in the northeastern United States. Oecologia 26:275-294.

Almer, B.; Dickson, W.; Ekstrom, C.; Hornstrom, E. 1978. Sulphur pollution and the aquatic ecosystem. Pages 272-311 *dans* Nriagu, J.O. *et al.*, réd. Sulphur in the Environment Part II : Ecological Impacts. John Wiley & Sons, Toronto, Ontario. 482 p.

Austin, M.P. 1976. Performance of four ordination techniques assuming three different non-linear species response models. Vegetatio 33:43-49.

Beaver, D.L.; Osborn, R.G.; Custer, T.W. 1980. Nest-site and colony characteristics of wading birds in selected Atlantic coast colonies. Wilson Bull. 92:200-220.

Bell, H.L. 1971. Effects of low pH on the survival and emergence of aquatic insects. Water Res. 5:313-319.

Benzécri, J.P. 1973. L'analyse des données. Tome II. L'analyse des correspondances. Dunod, Paris. 619 p.

Blondel, J.; Ferry, C.; Frochot, B. 1970. La méthode des indices ponctuels d'abondance (I.P.A.) ou des relevés d'avifaune par "stations d'écoute". Alauda 38:55-71.

Bobée, B.; Grimard, Y.; Lachance, M.; Tessier, A. 1982. Nature et étendue de l'acidification des lacs du Québec. Rapp. sci. n° 140. Minist. de l'Environnement, Québec. Serv. de la qual. des eaux. 243 p.

Bobée, B.; Lachance, M.; Haemmerli, J.; Tessier, A.; Charette, J.Y.; Kramer, J. 1983. Évaluation de la sensibilité à l'acidification des lacs du sud du Québec et incidences sur le réseau d'acquisition de données. INRS-Eau, rapp. sci. n° 157, 198 p. 4 annexes, 1 appendice.

Braun-Blanquet, J. 1932. Plant sociology. McGraw-Hill, New-York. 439 p.

Clark, K.; Fischer, K. 1981. Acid precipitation and wildlife. Div. de la toxicologie de la faune, Serv. can. de la faune. Rapp. man. n° 43. Environnement Can., Ottawa. 95 p.

Cody, M.L. 1974. Competition and the structure of bird communities. Monographs in population biology. 7. Princeton Univ. Press. N.J. 318 p.

Collins, N.C.; Zimmerman, A.P.; Knoechel, R. 1981. Comparison of benthic infauna and epifauna in acidified and non acidified Ontario lakes. Pages 35-48 *dans* Singer, R., réd. Effects of acid precipitation on benthos. Proceedings of a regional symposium on benthic biology. North Am. Benthological Soc.

Couillard, L.; Grondin, P. 1986. La végétation des milieux humides du Québec. Les publ. du Québec, Québec, 400 p.

Cowling, E.B. 1978. Effects of acid precipitation and atmospheric deposition on terrestrial vegetation. Pages 47-63 *dans* Galloway, J.N.; Cowling, E.B.; Gorham, E.; McFee, W.W., réd. A national program for assessing the problem of atmospheric deposition (acid rain). Rep. Counc. Environ. Qual., Fort Collins, Co. 97 p.

Crowder, A.A.; Bristow, J.M.; King, M.R. 1977. The aquatic macrophytes of some lakes in southern Ontario. Naturaliste can. 104:457-464.

Crum, H.A.; Steere, W.A.; Anderson, L.F. 1973. A new list of mosses of North America north of Mexico. Bryologist 76:85-130.

Damman, A.W.H. 1964. Some forest types of central Newfoundland and their relation to environmental factors. For. Sci. Monogr. 8:1-62.

Danell, K.; Sjoberg, K. 1978. Abundance and productivity of ducks on boreal lakes in northern Sweden. Ann. Zool. Fenn. 16:123-128.

Dansereau, P.; Segadas-Vianna, F. 1952. Ecological study of the peat bogs of eastern North America. Structure and evolution of vegetation. J. can. de bot. 30:490-520.

Darveau, M.; Bellefleur, P. 1984. Dynamique de la végétation d'emprises de lignes de transport d'énergie. J. can. de bot. 62:1730-1738.

DesGranges, J.-L. 1980. Des communautés aviennes du Parc national de la Mauricie, Québec. Serv. can. de la faune. Publ. hors série n° 41. 32 p.

DesGranges, J.-L., réd. 1985. L'acidité des lacs et les canards : première étape. Rapport technique préparé dans le cadre du programme «Environnement 2 000» par Canards Illimités et le Serv. can. de la faune.

DesGranges, J.-L.; Brodeur, J. 1985. Effets de l'acidité des lacs et de la compétition avec les poissons sur l'alimentation et la croissance de deux espèces de canetons du bouclier laurentien. Première étape. *Dans* DesGranges, J.-L., réd. 1985. L'acidité des lacs et les canards : première étape. Rapport technique préparé dans le cadre du programme «Environnement 2 000» par Canards Illimités et le Serv. can. de la faune.

DesGranges, J.-L.; Darveau, M. 1985. Effect of lake acidity and morphometry on the distribution of aquatic birds in southern Quebec. Holarctic Ecol. 8:181-190.

DesGranges, J.-L.; Hunter, M.J. 1987. Duckling response to lake acidification. Trans. North Am. Wildl. Nat. Resour. Conf. 52:636-644.

DesGranges, J.-L.; Laporte, P. 1979. Aperçu préliminaire de la situation des huarts (*Gaviidae*) au Québec. Serv. can. de la faune, Rég. du Québec. Rapp. inédit. 35 p.

DesGranges, J.-L.; Rodrigue, J. 1986. Influence of acidity and competition with fish on the development of ducklings in Quebec. Water, Air and Soil Pollut. 30:743-750.

Ducruc, J.-P.; Zarnovican, R. 1976. Notes sur l'écologie de trois espèces ligneuses à la bordure méridionale de la baie d'Ungava, Nouveau-Québec : *Betula glandulosa* Michx., *Larix laricina* (Du Roi) K. Koch, *Picea mariana* (Mill.) BSP. J. can. de bot. 54:1775-1783.

Dugas, J. 1970. Minéralisation métallique dans la fosse du Labrador. Minist. des richesses nat. du Québec, Dir. gén. des mines, Étude spéc. n° 5, 27 p. + 2 cartes.

Duncan, D.B. 1975. T-tests and intervals for comparisons suggested by the data. Biometrics 31:339-359.

Eadie, J.M.; Keast, A. 1982. Do Goldeneye and Perch compete for food? Oecologia 55:225-230.

Environnement Canada. 1982. Normales climatiques au Canada. 1951-1980. Vol. 2: Température; Vol. 3 : Précipitations; Vol. 4 : Degrés-jours. Environnement Canada, Serv. de l'environnement atmos. 306, 602 et 280 p.

Eriksson, M.O.G. 1979. Competition between freshwater fish and Goldeneyes (*Bucephala clangula*) for common prey. Oecologia 41:99-107.

Eriksson, M.O.G. 1983. The role of fish in the selection of lakes by non piscivorous ducks: Mallard, Teal and Goldeneye. Wildfowl 34:27-32.

Eriksson, M.O.G. 1984. Acidification of lakes : effects on waterbirds in Sweden. Ambio 13(4):260-262.

Eriksson, M.O.G. 1985. Prey detectability for fish-eating birds in relation to fish density and water transparency. Ornis Scand. 16:1-7.

Erskine, A.J. 1977. Birds in boreal Canada : communities, densities and adaptations. Serv. can. de la faune. Sér. de rapp. n° 41, pp. 1-71.

Ewert, D. 1982. Birds in isolated bogs in Central Michigan. Am. Midl. Nat. 108:41-50.

Fasham, M.J.R. 1977. A comparison of non-metric multidimensional scaling, principal components and reciprocal averaging for the ordination of coenoclines, and coenoplanes. Ecology 58:551-561.

Ferguson, P.; Lee, J.A.; Bell, J.N.B. 1978. Effects of sulphur pollutants on the growth of *Sphagnum* species. Environ. Pollut. 16:151-162.

Fremlin, G., réd. 1974. L'Atlas national du Canada. Macmillan Co. Toronto et Minist. de l'énerg., des mines et des ressources, Canada, Ottawa. 252 p.

Frenette, J.J. 1986. Effet de l'acidité sur les communautés ichtyologiques de 17 lacs du Témiscamingue. Dir. des relevés aquat., minist. de l'Environnement, Québec. Rapp. PA-23, 102 p.

Gauch, H.G.; Whittaker, R.H.; Wentworth, T.R. 1977. A comparative study of reciprocal averaging and other ordination techniques. J. Ecol. 65:157-174.

Gaudreau, L. 1979. La végétation et les sols des collines Tanginan. Abitibi-Ouest, Québec. Lab. d'écol. for., Univ. Laval, Québec. Étude écol. n° 1. 391 p.

Gauthier, R. 1980. La végétation et les sphaignes du parc des Laurentides, Québec. Lab. d'écol. for., Univ. Laval, Québec. Étude écol. n° 3. 634 p.

Gilbert, G.; Hélie, R.G.; Mondoux, J.M.; Li, L.K. 1985. Sensibilité de l'écosystème aux précipitations acides au Québec. Environnement Can., Dir. gén. des terres, Rég. du Québec, Série de la classif. écol. du territ. n° 20, 96 p.

Gilbert, G.; Mondoux, J.M.; Quirion, M. 1987. Les écodistricts du Québec. Environnement Canada, Dir. gén. des terres. Rég. du Québec. 19 p. + cartes et annexes.

Gorham, E.; Bayley, S.E.; Schindler, D.W. 1984. Ecological effects of acid deposition upon peatlands : a neglected field in "acid-rain" research. J. can. des sci. halieutiques et aquat. 41:1256-1268.

Grahn, O. 1977. Macrophyte succession in Swedish lakes caused by deposition of airborne acid substances. Water, Air and Soil Pollut. 7:295-305.

Grandtner, M.M. 1960. La forêt de Beauséjour, Comté de Lévis, Québec. Étude phytosociologique. Fonds de rech. for., Univ. Laval, Québec. Contrib. n° 7. 62 p.

Grimard, Y. 1984. Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec : sommaire des données de la qualité des eaux de précipitation 1981-1982-1983. Minist. de l'Environnement, Québec, Serv. de la qual. des eaux, Rapp. PA-11. 163 p.

Grondin, P.; Ouellleau, J. 1980. Les tourbières du sud de la Jamésie, Québec. Géogr. phys. et quaternaire 34:267-299.

Haapanen, A.; Nilsson, L. 1979. Breeding waterfowl populations in Northern Fennoscandia. Ornis Scand. 10:145-219.

Haines, T.A. 1981. Acidic precipitation and its consequences for aquatic ecosystems : a review. Trans. Am. Fish. Soc. 110:669-707.

Haines, T.A.; Hunter, M.L. 1982. Waterfowl and their habitat : threatened by acid rain? Pages 177-187 *dans* Fourth Int. Waterfowl Symp., Ducks Unlimited, New Orleans, La.

Hilden, O. 1964. Ecology of duck populations in the island group of Valassaaret, Gulf of Bothnia. Ann. Zool. 1:153-277.

Hill, M.O. 1974. Correspondence analysis : a neglected multivariate method. Appl. Stat. 23:340-354.

Hultberg, H.; Grahn, O. 1976. Effects of acid precipitation on macrophytes in oligotrophic Swedish lakes. J. Great Lakes Res. 2 (Suppl. 1): 208-217.

Hunter, M.L.; Jones, J.J.; Gibbs, K.E.; Moring, J.R. 1986. Duckling responses to lake acidification : do black ducks and fish compete? Oikos 47:26-32.

Hunter, M.L.; Jones, J.J.; Gibbs, K.E.; Moring, J.R.; Brett, M. 1985. Interactions among waterfowl, fishes, invertebrates, and macrophytes in four Maine lakes of different acidity. U.S. Fish and Wild. Serv., East. Energy and Land Use Team. Biol. Rep. 80(40.20), 80 p.

IEC Beak., 1985. Utilisation de modèles trophiques et de la structure des communautés planctoniques pour déterminer les effets de l'acidité et de facteurs environnementaux particuliers sur la chaîne alimentaire dans les lacs du Québec. Rapport technique préparé à l'intention de Pêches et Océans et du Serv. can. de la faune. Projet 1173.1, 2 vol. Québec.

Jeglum, J.K. 1973. Boreal forest wetlands near Candle Lake, Saskatchewan. II. Relationships of vegetational variation to major environmental gradients. Musk-ox 12:32-48.

Joyner, D.E. 1980. Influence of invertebrates on pond selection by ducks in Ontario. J. Wildl. Manage. 44:700-705.

Jurdant, M.; Bélair, J.-L.; Gerardin, V.; Ducruc, J.-P. 1977. L'inventaire du Capital-Nature. Méthode de classification et de cartographie écologique du territoire (3e approximation). Environnement Canada, Dir. gén. des terres, Rég. du Québec, Série de la classif. écol. du territ. n° 2. 202 p.

Karr, J.R.; Roth, R.R. 1971. Vegetation structure and avian diversity in several New World areas. Am. Nat. 105:423-435.

Kerekes, J.; Freedman, B.; Howell, G.; Clifford, P. 1984. Comparison of the characteristics of an acidic eutrophic, and an acidic oligotrophic lake near Halifax, Nova Scotia. Water Pollut. Res. J. Can. 19:1-10.

Lachance, M.; Bobée, B.; Grimard, Y. 1985. Sensitivity of southern Quebec lakes to acidic precipitation. Water, Air and Soil Pollut. 25:115-132.

Laven, R.D. 1982. Establishing homogeneity in studies of forest succession. For. Ecol. Manage. 4:161-177.

Legendre, L.; Legendre, P. 1979. Écologie numérique. 2. La structure des données écologiques. Masson, Paris et Presses univ. du Québec, Montréal. 247 p.

Levins, R. 1968. Evolution in changing environments. Monographs in population biology N° 2. Princeton Univ. Press. Princeton, N.J. 120 p.

Marie-Victorin, F. 1964. Flore laurentienne, 2e éd. Presses univ. de Montréal, Montréal. 925 p.

McLaren, M.A.; McLaren, P.L. 1981. Relative abundances of birds in boreal and subarctic habitats of Northwestern Ontario and Northeastern Manitoba. Can. Field-Nat. 95:418-427.

McNicol, D.K.; Bendell, B.E.; Ross, R.K. 1987. Étude des effets de l'acidification sur la faune aquatique au Canada : rapports entre la sauvagine et les niveaux trophiques de petits lacs du nord de l'Ontario. Serv. can. de la faune. Publ. hors série n° 62.

Mémorandum d'intention. 1983. Mémorandum déclaratif d'intention concernant la pollution atmosphérique transfrontière : Évaluation des impacts. États-Unis-Canada, Groupe de travail n° 1. Rapp. final. 600 p.

Mercer, E.H. 1966. The use of the word "keratin". Adv. Biol. Skin. 9:556-558.

Milette, P.; Fontaine, D. 1975. Étude phyto-écologique de six tourbières du tiers inférieur du parc national de la Mauricie, Québec. Fac. de for. géod., Univ. Laval, Québec. (Mémoire B. ès Sc., non publ.) 256 p.

Moreau, G.; Barbeau, C.; Frenette, J.J.; Lévesque, F.; Saint-Onge, J.; Simoneau, M. 1984. Influence des précipitations acides sur les populations d'Ombles de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) de la réserve des Laurentides. Dir. gén. des relevés aquat., minist. de l'Environnement, Québec. Rapp. PA-7, 124 p.

Moyle, J.B. 1961. Aquatic invertebrates as related to larger water plants and waterfowl. Minnesota Dep. Conserv. Invest. Rep. N° 233. 24 p.

Murphy, S.M.; Kessel, B.; Vining, L.J. 1984. Waterfowl populations and limnologic characteristics of taiga ponds. J. Wildl. Manage. 48:1156-1163.

Nilsson, S.G. 1979. Density and species richness of some forest bird communities in south Sweden. Oikos 33:392-401.

Nilsson, S.G.; Nilsson, I.N. 1978. Breeding bird community densities and species richness in lakes. Oikos 31:214-221.

Noon, B.R.; Dawson, D.K.; Inkley, D.B.; Robbins, C.S.; Anderson, S.H. 1980. Consistency in habitat preference of forest bird species. Trans. North Am. Wildl. Nat. Resour. Conf. 45:226-244.

Nyholm, N.E.I. 1981. Evidence of involvement of aluminum in causation of defective formation of eggshells and of impaired breeding in wild passerine birds. Environ. Res. 26:363-371.

Nyholm, N.E.I.; Myhrberg, H.E. 1977. Severe eggshell defects and impaired reproductive capacity in small passerines in Swedish Lapland. Oikos 29:336-341.

Ormerod, S.J.; Tyler, S.J.; Lewis, J.M.S. 1985. Is the breeding distribution of Dippers influenced by stream acidity? Bird Study 32:33-40.

Patterson, J.H. 1976. The role of environmental heterogeneity in the regulation of duck populations. J. Wildl. Manage. 40:22-32.

Pehrsson, O. 1974. Nutrition of small ducklings regulating breeding area and reproductive output in the long-tailed duck, *Clangula hyemalis*. Int. Congr. Game Biol. 11:259-264.

Pehrsson, O. 1979. Feeding behaviour, feeding habitat utilization and feeding efficiency of Mallard ducklings (*Anas platyrhynchos* L.) as guided by domestic duck. Viltrevy 10 193-218.

Pehrsson, O. 1984. Relationships of food to spatial and temporal breeding strategies of mallards in Sweden. J. Wildl. Manage. 48:322-339.

Potvin, P.; Grimard, Y. 1983. Étude de la qualité du milieu aquatique de 67 lacs à sauvagine de la région de Schefferville, Québec. Serv. de la qual. des eaux, minist. de l'Environnement, Québec. Rapp. PA-8, 153 p. et annexes.

Prodon, R.; Lebreton, J.D. 1981. Breeding avifauna of a Mediterranean succession : the holm oak and cork oak series in the eastern Pyrénées, 1. Analysis and modelling of the structure gradient. Oikos 37:21-38.

Raddum, G.G. 1980. Comparison of benthic invertebrates in lakes with different acidity. P. 330 *dans* Drablos, D. et Tollan, A., réd. Ecological impact of acid precipitation. Proc. Int. Conf. Ecol. Impact Acid Precip. Norway, SNSF project.

Reed, A. 1978. Canadian Waterfowl Management Plan — Quebec. Rapp. interne du Serv. can. de la faune, Rég. du Québec. 18 p.

Rice, J.; Ohmart, R.D.; Anderson, B.W. 1983. Turnovers in species composition of avian communities in contiguous riparian habitats. Ecology 64:1444-1455.

Richard, Y. 1985. Influence du niveau d'acidité des milieux lacustres sur la faune ichtyologique de la région de Portneuf, Québec. Dir. des relevés aquat., minist. de l'Environnement, Québec. Rapp. PA-15. 197 p.

Ringelman, J.K.; Longcore, J.R. 1982. Movements and wetland selection by brood-rearing Black Ducks. J. Wildl. Manage. 46:615-621.

Ringelman, J.K.; Longcore, J.R.; Owen, R.B. 1982. Breeding habitat selection and home range of radio-marked black ducks (*Anas rubripes*) in Maine. J. can. de zool. 60:241-248.

Robbins, C.S. 1981*a*. Effect of time of day on bird activity. Pages 275-286 *dans* Ralph, C.J. et Scott, J.M. Estimating numbers of terrestrial birds. Stud. in Avian Biol. N° 6:275-286.

Robbins, C.S. 1981*b*. Bird activity levels related to weather. Pages 301-310 *dans* Ralph, C.J. et Scott, J.M. Estimating numbers of terrestrial birds. Stud. in Avian Biol. N° 6:301-310.

Rodrigue, J.; DesGranges, J.-L. 1989. Étude de la qualité du milieu aquatique et des composantes biologiques de 81 lacs à sauvagine du Québec méridional. Dir. gén. des relevés aquat., minist. de l'Environnement, Québec. Rapport PA 89-01. 105 p.+ annexes.

Rotenberry, J.T. 1978. Components of avian diversity along a multifactorial climatic gradient. Ecology 59:693-699.

Rousseau, J. 1952. Les zones biologiques de la péninsule Québec-Labrador et l'hémi-arctique. J. can. de bot. 30:436-474.

Rov, N. 1975. Breeding bird community structure and species diversity along an ecological gradient in deciduous forest in western Norway. Ornis Scand. 6:1-14.

Rowe, J.S. 1972. Les régions forestières du Canada. Environnement Can., Serv. can. des forêts, Publ. n° 1300F. 172 p.

Rubec, C.D.A. 1981. Les caractéristiques des écosystèmes terrestres touchés par les précipitations acides au Canada. Environnement Can., Dir. gén. des terres, Ottawa. Doc. de trav. n° 19. 32 p.

Schreiber, R.K.; Fischer, K.L. 1983. Acid stress on forest habitats : implications for terrestrial wildlife. Présenté devant l'«Acid Rain and Forest Resources Conference» parrainée par le Serv. can. des forêts, Environnement Can. et tenue à Québec (Qué.) du 14 au 17 juin 1983.

Shilts, W.W. 1981. Sensibilité de la roche en place aux précipitations acides : modifications dues aux phénomènes glaciaires. Comm. géol. du Can. Étude 81-14: 7 p. + cartes.

Short, J.J. 1979. Patterns of Alpha-diversity and abundance in breeding bird communities across North America. Condor 81:21-27.

Silieff, E.; Hussell, D.J.T. 1982. Ontario Lakes Loon Survey Progress Report N° 1:1982. Long Point Bird Observatory. Rapp. inédit.

Stauffer, D.F.; Best, L.B. 1980. Habitat selection by birds of riparian communities : evaluating effects of habitat alterations. J. Wildl. Manage. 44:1-15.

Swift, B.L.; Larson, J.S.; DeGraaf, R.M. 1984. Relationship of breeding bird density and diversity to habitat variables in forested wetlands. Wilson Bull. 96:48-59.

Tarnocai, C. 1980. Canadian wetland registry. Pages 9-39 *dans* Rubec, C.D.A. et Pollet, F.C., réd. Compte rendu d'un atelier sur les terres humides du Canada, Dir. des terres, Sér. de la classif. écol. du territ. n° 12.

Terborgh, J. 1971. Distribution on environmental gradients : theory and a preliminary interpretation of distributional patterns in the avifauna of the Cordillera Vilcabamba, Peru. Ecology 52:23-40.

Tramer, E.J. 1974. On latitudinal gradients in avian diversity. Condor 76:123-130.

Trewartha, G. 1968. An introduction to climate. McGraw-Hill. 408 p.

Vincent, G.A.; Bergeron, Y. 1983. La caractérisation d'herbiers aquatiques du lac des Deux-Montagnes (Québec) à partir de paramètres physiques de l'eau. J. can. de bot. 61:400-411.

Vitt, D.H.; Bayley, S. 1984. The vegetation and water chemistry of four oligotrophic basin mires in northwestern Ontario. J. can. de bot. 62:1485-1500.

Wiens, J.A. 1973. Pattern and process in grassland bird communities. Ecol. Monogr. 43:237-270.

Wile, I.; Miller, G.E.; Hitchin, G.G.; Yan, N.D. 1985. Species composition and biomass of macrophyte vegetation of one acidified and two acid-sensitive lakes in Ontario. Can. Field-Nat. 99:308-312.

Wright, R.F.; Dale, T.; Gjessing, E.T.; Hendrey, G.; Henriksen, A.; Johannessen, M.; Muniz, I.P. 1976. Impact of acid precipitation on freshwater ecosystems in Norway. Water, Air and Soil Pollut. 6:483-499.

Zarnovican, R.; Bélair, J.L. 1979. Les tourbières de la Baie James : la végétation et les sols. Environnement Can. Dir. gén. des terres, Sér. de la classif. écol. du territ. n° 9. 37 p.

Zoltai, S.C.; Pollett, F.C.; Jeglum, J.K.; Adams, G.D. 1975. Developing a wetland classification for Canada. Pages 497-511 *dans* Bernier, B. et Winget, C.H., réd. Actes de la Quatrième conférence sur les sols forestiers de l'Amérique du Nord, Québec, 1973.

Liste des noms vernaculaires et scientifiques des oiseaux mentionnés dans la présente étude

Aigle-pêcheur	*Pandion haliaetus*
Alouette cornue	*Eremophila alpestris*
Bécasseau minuscule	*Calidris minutilla*
Bécasseau roux	*Limnodromus griseus*
Bécassine des marais	*Gallinago gallinago*
Bec-scie à poitrine rousse	*Mergus serrator*
Bec-scie couronné	*Lophodytes cucullatus*
Bernache du Canada	*Branta canadensis*
Bruant lapon	*Calcarius lapponicus*
Butor d'Amérique	*Botaurus lentiginosus*
Canard noir	*Anas rubripes*
Carouge à épaulettes	*Agelaius phoeniceus*
Chardonneret des pins	*Carduelis pinus*
Chevalier solitaire	*Tringa solitaria*
Colibri à gorge rubis	*Archilochus colubris*
Fauvette à calotte noire	*Wilsonia pusilla*
Fauvette à couronne rousse	*Dendroica palmarum*
Fauvette à croupion jaune	*Dendroica coronata*
Fauvette à flancs marron	*Dendroica pensylvanica*
Fauvette à gorge orangée	*Dendroica fusca*
Fauvette à joues grises	*Vermivora ruficapilla*
Fauvette à poitrine baie	*Dendroica castanea*
Fauvette à tête cendrée	*Dendroica magnolia*
Fauvette bleue à gorge noire	*Dendroica caerulescens*
Fauvette couronnée	*Seiurus aurocapillus*
Fauvette des ruisseaux	*Seiurus noveboracensis*
Fauvette du Canada	*Wilsonia canadensis*
Fauvette flamboyante	*Setophaga ruticilla*
Fauvette jaune	*Dendroica petechia*
Fauvette masquée	*Geothlypis trichas*
Fauvette noir et blanc	*Mniotilta varia*
Fauvette obscure	*Vermivora peregrina*
Fauvette parula	*Parula americana*
Fauvette rayée	*Dendroica striata*
Fauvette tigrée	*Dendroica tigrina*
Fauvette triste	*Oporornis philadelphia*
Fauvette verte à gorge noire	*Dendroica virens*
Garrot commun	*Bucephala clangula*
Geai bleu	*Cyanocitta cristata*
Geai gris	*Perisoreus canadensis*
Gélinotte huppée	*Bonasa umbellus*
Goéland argenté	*Larus argentatus*
Grand Bec-scie	*Mergus merganser*
Grand Morillon	*Aythya marila*
Grand Pic	*Dryocopus pileatus*
Grive à dos olive	*Catharus ustulatus*
Grive à joues grises	*Catharus minimus*
Grive des bois	*Hylocichla mustelina*
Grive fauve	*Catharus fuscescens*
Grive solitaire	*Catharus guttatus*
Gros-bec à poitrine rose	*Pheucticus ludovicianus*
Gros-bec des pins	*Pinicola enucleator*
Gros-bec errant	*Coccothraustes vespertinus*
Hirondelle bicolore	*Tachycineta bicolor*
Hirondelle des granges	*Hirundo rustica*
Huard à collier	*Gavia immer*
Jaseur des cèdres	*Bombycilla cedrorum*
Junco ardoisé	*Junco hyemalis*
Macreuse à bec jaune	*Melanitta nigra*
Mainate bronzé	*Quiscalus quiscula*
Mainate rouilleux	*Euphagus carolinus*
Martinet ramoneur	*Chaetura pelagica*
Martin-pêcheur d'Amérique	*Ceryle alcyon*
Maubèche branle-queue	*Actitis macularia*
Merle d'Amérique	*Turdus migratorius*
Mésange à tête brune	*Parus hudsonicus*
Mésange à tête noire	*Parus atricapillus*
Morillon à collier	*Aythya collaris*
Moucherolle à côtés olive	*Contopus borealis*
Moucherolle à ventre jaune	*Empidonax flaviventris*
Moucherolle des aulnes	*Empidonax alnorum*
Moucherolle huppé	*Myiarchus crinitus*
Moucherolle tchébec	*Empidonax minimus*
Phalarope hyperboréen	*Phalaropus lobatus*
Pic chevelu	*Picoides villosus*
Pic flamboyant	*Colaptes auratus*
Pic maculé	*Sphyrapicus varius*
Pinson à couronne blanche	*Zonotrichia leucophrys*
Pinson à gorge blanche	*Zonotrichia albicollis*
Pinson chanteur	*Melospiza melodia*
Pinson de Lincoln	*Melospiza lincolnii*

Pinson des marais	*Melospiza georgiana*
Pinson des prés	*Passerculus sandwichensis*
Pinson fauve	*Passerella iliaca*
Pinson hudsonien	*Spizella arborea*
Pioui de l'Es.	*Contopus virens*
Pipit commun	*Anthus spinoletta*
Pluvier à collier	*Charadrius semipalmatus*
Pluvier kildir	*Charadrius vociferus*
Roitelet à couronne dorée	*Regulus satrapa*
Roitelet à couronne rubis	*Regulus calendula*
Roselin pourpré	*Carpodacus purpureus*
Sarcelle à ailes vertes	*Anas crecca*
Sittelle à poitrine rousse	*Sitta canadensis*
Sizerin flammé	*Carduelis flammea*
Sterne arctique	*Sterna paradisaea*
Tangara écarlate	*Piranga olivacea*
Troglodyte des forêts	*Troglodytes troglodytes*
Tyran tritri	*Tyrannus tyrannus*
Viréo à tête bleue	*Vireo solitarius*
Viréo aux yeux rouges	*Vireo olivaceus*
Viréo de Philadelphie	*Vireo philadelphicus*

Autres publications hors série

N° 1
Les oiseaux protégés au Canada en vertu de la Loi sur la Convention concernant les oiseaux migrateurs, 4e éd. Bilingual publication.
N° de cat. CW69-1/1. Publ. en 1957, rév. en 1980.

N° 2
Noms des oiseaux du Canada. Noms français, anglais et scientifiques. Bilingual publication.
N° de cat. CW69-1/2. Publ. en 1957, rév. en 1972.

N° 3
Use of aerial surveys by the Canadian Wildlife Service, par D.A. Benson.
Épuisé.
N° de cat. CW69-1/3. Publ. en 1963, réimp. en 1966.

N° 4
Queen Elizabeth Islands game survey, 1961, par J.S. Tener.
N° de cat. CW69-1/4. Publ. en 1963, réimp. en 1972.

N° 5
Age determination in the polar bears, par T.H. Manning.
N° de cat. CW69-1/5. Publ. en 1964, réimp. en 1973.

N° 6
A wildlife biologist looks at sampling, data processing and computers, par D.A. Benson.
Épuisé.
N° de cat. R69-1/6. Publ. en 1964.

N° 7
Preliminary report on the effects of phosphamidon on bird populations in New Brunswick, par C.D. Fowle.
Épuisé.
N° de cat. R69-1/7. Publ. en 1965.

N° 8
Birds of Nova Scotia–New Brunswick border region, par G.F. Boyer.
N° de cat. CW69-1/8. Publ. en 1966, réimp. en 1981.

N° 9
Effects of dietary methylmercury on Ring-necked Pheasants, with special reference to reproduction, par N. Fimreite.
N° de cat. R69-1/9. Publ. en 1971.

N° 10
Trends in populations of barren-ground caribou over the last two decades: a re-evaluation of the evidence, par G.R. Parker.
N° de cat. CW69-1/10. Publ. en 1971, réimp. en 1972.

N° 11
The Canada migratory game bird hunting permit and related surveys, par D.A. Benson.
N° de cat. R69-1/11. Publ. en 1971.

N° 12
Observations on duck hunting in eastern Canada in 1968 and 1969, par H.J. Boyd.
N° de cat. R69-1/12. Publ. en 1971.

N° 13
Evaluation of ecological effects of recent low water levels in the Peace–Athabasca Delta, par H.J. Dirschl.
N° de cat. CW69-1/13. Publ. en 1972.

N° 14
The Great Cormorants of eastern Canada, par A.J. Erskine.
N° de cat. CW69-1/14. Publ. en 1972.

N° 15
Distribution of barren-ground caribou harvest in north-central Canada, par G.R. Parker.
N° de cat. CW69-1/15. Publ. en 1972.

N° 16
Bird migration forecasts for military air operations, par H. Blokpoel.
N° de cat. CW69-1/16. Publ. en 1973.

N° 17
Waterfowl populations on the Peace–Athabasca Delta. 1969 and 1970, par D.J. Nieman and H.J. Dirschl.
N° de cat. CW69-1/17. Publ. en 1973.

N° 18
Gammarus predation and the possible effects of *Gammarus* and *Chaoborus* feeding on the zooplankton composition in some small lakes and ponds in western Canada, par R.S. Anderson et L.G. Raasveldt.
N° de cat. CW69-1/18. Publ. en 1974.

N° 19
A summary of DDE and PCB determinations in Canadian birds, 1969 to 1972, par M. Gilbertson et L. Reynolds.
N° de cat. CW69-1/19. Publ. en 1974.

N° 20
Development of a simulation model of Mallard Duck populations, par C.J. Walters, R. Hilborn, E. Oguss, R.M. Peterman et J.M. Stander.
N° de cat. CW69-1/20. Publ. en 1974.

N° 21
Use of museum specimens in toxic chemical research, par A.M. Rick.
N° de cat. CW69-1/21. Publ. en 1975.

N° 22
Impoundments for waterfowl, par W.R. Whitman.
N° de cat. CW69-1/22. Publ. en 1976.

N° 23
Minimizing the dangers of nesting studies to raptors and other sensitive species, par R.W. Fyfe et R.R. Olendorff.
N° de cat. CW69-1/23. Publ. en 1976.

N° 24
Waterfowl damage to Canadian grain: current problems and research needs, par L.G. Sugden.
N° de cat. CW69-1/24. Publ. en 1976.

N° 25
Census techniques for seabirds of arctic and eastern Canada, par D.N. Nettleship.
N° de cat. CW69-1/25. Publ. en 1976.

N° 26
Notes on the present status of the polar bear in James Bay and Belcher Islands area, par Charles Jonkel, Pauline Smith, Ian Stirling et George B. Kolenosky.
N° de cat. CW69-1/26. Publ. en 1976.

N° 27
Limnological and planktonic studies in the Waterton Lakes, Alberta, par R. Stewart Anderson et Roderick B. Green.
N° de cat. CW69-1/27. Publ. en 1976.

N° 28
Birds and mammals of the Belcher, Sleeper, Ottawa, and King George Islands, Northwest Territories, par T.H. Manning.
N° de cat. CW69-1/28. Publ. en 1976.

N° 29
Developments in PPS sampling—Impact on current research, par A.R. Sen.
N° de cat. CW69-1/29. Publ. en 1976.

N° 30
Dynamics of snowshoe hare populations in the Maritime Provinces, par Thomas J. Wood et Stanley A. Munroe.
N° de cat. CW69-1/30. Publ. en 1977.

N° 31
Migration and population dynamics of the Peace-Athabasca Delta goldeye population, par D.B. Donald et A.H. Kooyman.
N° de cat. CW69-1/31. Publ. en 1977.

N° 32
The effects of fire on the ecology of the Boreal Forest, with particular reference to the Canadian north; a review and selected bibliography, par John P. Kelsall, E.S. Telfer et Thomas D. Wright.
N° de cat. CW69-1/32. Publ. en 1977.

N° 33
The ecology of the polar bear *(Ursus maritimus)* along the western coast of Hudson Bay, par Ian Stirling, Charles Jonkel, Pauline Smith, Richard Robertson et Dale Cross.
N° de cat. CW69-1/33. Publ. en 1977.

N° 34
Canvasback habitat use and production in Saskatchewan parklands, par Lawson G. Sugden.
N° de cat. CW69-1/34. Publ. en 1978.
N° 35
The diets of muskoxen and Peary caribou on some islands of the Canadian High Arctic, par Gerald R. Parker.
N° de cat. CW69-1/35. Publ. en 1978.
N° 36
Observations of Mallards in the parkland of Alberta, par Michael F. Sorenson.
N° de cat. CW69-1/36. Publ. en 1978.
N° 37
The wildlife valuation problem: A critical review of economic approaches, par William A. Langford et Donald J. Cocheba.
N° de cat. CW69-1/37. Publ. en 1978.
N° 38
Spatial changes in waterfowl habitat, 1964-74 on two land types in the Manitoba Newdale Plain, par G.D. Adams et G.G. Gentle.
N° de cat. CW69-1/38. Publ. en 1978.
N° 39
Patterns of pelagic distribution of seabirds in western Lancaster Sound and Barrow Strait, Northwest Territories, in August and September 1976, par D.N. Nettleship et A.J. Gaston.
N° de cat. CW69-1/39. Publ. en 1978.
N° 40
Responses of Peary caribou and muskoxen to helicopter harassment, par Frank L. Miller et Anne Gunn.
N° de cat. CW69-1/40. Publ. en 1979.
N° 41
Des communautés aviennes du parc national de la Mauricie, Québec, par J.-L. DesGranges. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/41F. Publ. en 1979.
N° 42
Études écologiques de la population d'ours blancs dans le nord du Labrador, par Ian Stirling et H.P.L. Kiliaan. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/42F. Publ. en 1980.
N° 43
Méthodes de recensement des marmettes, espèce *Uria*; une approche unifiée, par T.R. Birkhead et D.N. Nettleship. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/43F. Publ. en 1980.
N° 44
Études écologiques des populations d'ours blancs dans le sud-est de l'île Baffin, par Ian Stirling. Wendy Calvert et Dennis Andriashek. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/44F. Publ. en 1980.
N° 45
Les polynies dans l'Arctique canadien, par Ian Stirling et Holly Cleator (rédacteurs). Also available in English.
N° de cat. CW69-1/45F. Publ. en 1981.
N° 46
Les Petites Oies blanches de l'est de l'Arctique canadien, par H. Boyd, G.E.J. Smith et F.G. Cooch. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/46F. Publ. en 1982.
N° 47
Répartition et abondance des phoques dans la partie orientale de la mer de Beaufort. 1974–1979, par Ian Stirling. Michael Kingsley et Wendy Calvert. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/47F. Publ. en 1983.
N° 48
Le comportement alimentaire de caribou de Peary selon les conditions de la neige et de la glace du printemps, par F.L. Miller, E.J. Edmonds et A. Gunn. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/48F. Publ. en 1982.
N° 49
Étude de quelques techniques importantes d'échantillonnage de la faune, par A.R. Sen. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/49F. Publ. en 1982.
N° 50
Réglementation intensive de la chasse aux canards en Amérique du Nord : but et réalisations, par Hugh Boyd. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/50F. Publ. en 1983.
N° 51
Dimension humaine de la chasse aux oiseaux-gibier migrateurs au Canada, par Fernand L. Filion et Shane A.D. Parker. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/51F. Publ. en 1984.
N° 52
Éléments de la mortalité attribuable à la chasse chez le canard, par G.S. Hochbaum et C.J. Walters. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/52F. Publ. en 1984.
N° 53
Interprétation des relevés aériens d'oiseaux de mer : certains effets du comportement, par A.J. Gaston et G.E.J. Smith. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/53F. Publ. en 1984.
N° 54
Étude sur les oiseaux aquatiques en Ontario, de 1973 à 1981, par S.G. Curtis, D.G. Dennis et H. Boyd, réd. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/54F. Publ. en 1985.
N° 55
Prises déclarées de canards, d'oies et de bernaches au Canada et aux États-Unis, de 1974 à 1982, par H. Boyd. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/55F. Publ. en 1985.
N° 56
La dynamique des populations de Huards à collier (*Gavia immer*) et les eaux contaminées au mercure dans le nord-ouest de l'Ontario, par J.F. Barr. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/56F. Publ. en 1986.
N° 57
Les Goélands à bec cerclé en Ontario : une nouvelle espèce problème, par H. Blokpoel et G.D. Tessier. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/57F. Publ. en 1986.
N° 58
Les oiseaux de la vallée de Creston et du sud-est de la Colombie-Britannique, par Robert W. Butler, Brian G. Stushnoff et Edward McMackin. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/58F. Publ. en 1986.
N° 59
Estimation de la densité des oiseaux en mer et de la proportion des oiseaux en vol à partir des dénombrements effectués sur des transects de largeur indéterminée, par A.J. Gaston, E.T. Collins, A.W. Diamond. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/59F. Publ. en 1987.
N° 60
Dénombrements de populations reproductrices d'oiseaux aquatiques dans les provinces de l'Atlantique, par Anthony J. Erskine. Also available in English.
N° de cat. CW69-W/60F. Publ. en 1987.
N° 61
Dénombrement de Petites Oies blanches dans les îles Southampton et de Baffin, T.N.-O., en 1979, par A. Reed, P. Dupuis, G.E.J. Smith. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/61F. Publ. en 1987.
N° 62
Études des effets de l'acidification sur la faune aquatique du Canada : Rapports entre la sauvagine et les niveaux trophiques de petits lacs du nord de l'Ontario, par D.K. McNicol, B.E. Bendell et R.K. Ross. Also available in English.
N° de cat. CW69-1/62F. Publ. en 1987.
N° 63
Bison ecology in relation to agricultural development in the Slave River lowlands, NWT, par H.W. Reynolds et A.W.L. Hawley.
N° de cat. CW69-1/63E. Publ. en 1987.
N° 64
Un modèle pour la simulation de la population des Grandes Oies blanches, par J. Gauvin et A. Reed.
N° de cat. CW69-1/64F. Publ. en 1987.
N° 65
The birds of the Fraser River delta: populations, ecology and international significance, par Robert W. Butler et R. Wayne Campbell.
N° de cat. CW69-1/65E. Publ. en 1987.
N° 66
Mortality of migratory barren-ground caribou on the calving grounds of the Beverly herd, Northwest Territories, 1981-83, par F.L. Miller, E. Broughton et A. Gunn. N° de cat. CW69-1/66E.